

#2
12-22-90
DRS

PATENT
757-225P

IN THE U.S. PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant: HANDA, Minoru et al.
Appl. No.: New Group:
Filed: September 29, 2000 Examiner:
For: METHOD AND APPARATUS FOR FORMING A
RECEPTION BEAM



LETTER

Assistant Commissioner for Patents
Washington, DC 20231

September 29, 2000

Sir:

Under the provisions of 35 U.S.C. § 119 and 37 C.F.R. § 1.55(a), the applicant(s) hereby claim(s) the right of priority based on the following application(s):

Country
JAPAN

Application No.
11-276704

Filed
September 29, 1999

A certified copy of the above-noted application(s) is(are) attached hereto.

If necessary, the Commissioner is hereby authorized in this, concurrent, and future replies, to charge payment or credit any overpayment to Deposit Account No. 02-2448 for any additional fee required under 37 C.F.R. §§ 1.16 or 1.17; particularly, extension of time fees.

Respectfully submitted,

BIRCH, STEWART, KOLASCH & BIRCH, LLP

By Michael K. Mutter, #29,680

P.O. Box 747
Falls Church, VA 22040-0747
(703) 205-8000

MKM/cqc
757-225P

Attachment

【書類名】 特許願

【整理番号】 990139

【提出日】 平成11年 9月29日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G01S 3/80

【発明者】

【住所又は居所】 兵庫県西宮市芦原町9番52号
古野電気株式会社内

【氏名】 半田 実

【発明者】

【住所又は居所】 兵庫県西宮市芦原町9番52号
古野電気株式会社内

【氏名】 飯野 博司

【発明者】

【住所又は居所】 兵庫県西宮市芦原町9番52号
古野電気株式会社内

【氏名】 西森 靖

【発明者】

【住所又は居所】 兵庫県西宮市芦原町9番52号
古野電気株式会社内

【氏名】 奥西 哲

【特許出願人】

【識別番号】 000166247

【氏名又は名称】 古野電気株式会社

【代理人】

【識別番号】 100084548

【弁理士】

【氏名又は名称】 小森 久夫

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 013550

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9001588

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 受波ビーム形成方法、受波ビーム形成装置およびマッチドフィルタ

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 円弧状に配列された複数の超音波振動子を、受波ビーム形成方向における位置に応じて複数のブロックに分割し、

各超音波振動子が受信した信号の各々を、所定のスキャン周期で繰り返しサンプリングし、

各ブロック毎にそれぞれ別のスキャン周期のサンプリングデータを選択し、

選択されたサンプリングデータに基づいて受波ビームを形成する受波ビーム形成方法。

【請求項 2】 前記複数の超音波振動子が受信する信号は、前記円弧状に配列された複数の超音波振動子の受波ビーム形成方向における長さよりも短いパルス信号である請求項 1 に記載の受波ビーム形成方法。

【請求項 3】 前記複数の超音波振動子が受信する信号は、徐々に振幅が大きくなってゆく増加波または徐々に振幅が小さくなってゆく減衰波である請求項 1 に記載の受波ビーム形成方法。

【請求項 4】 円周状に配列された複数の超音波振動子から一部円弧状の超音波振動子を選択して、請求項 1 に記載の円弧状に配列された複数の超音波振動子とし、前記一部円弧状の超音波振動子の選択を順次切り換えることにより受波ビーム形成方向を回転させる受波ビーム形成方法。

【請求項 5】 線状に配列された複数の超音波振動子を複数のブロックに分割し、

各超音波振動子が受信した信号の各々を、所定のスキャン周期で繰り返しサンプリングし、

各ブロック毎にそれぞれ別のスキャン周期のサンプリングデータを選択し、

選択されたサンプリングデータに基づいて所定方向に受波ビームを形成する受波ビーム形成方法。

【請求項 6】 前記複数の超音波振動子が受信する信号は、前記線状に配列さ

れた複数の超音波振動子の前記所定方向から見た奥行きよりも短いパルス信号である請求項 5 に記載の受波ビーム形成方法。

【請求項 7】 前記複数の超音波振動子が受信する信号は、徐々に振幅が大きくなってゆく増加波または徐々に振幅が小さくなってゆく減衰波である請求項 5 に記載の受波ビーム形成方法。

【請求項 8】 前記受波ビーム形成方向の前記線状に配列された複数の超音波振動子に対する角度に応じて各ブロック毎のスキャン周期の選択を変更する請求項 5、請求項 6 または請求項 7 に記載の受波ビーム形成方法。

【請求項 9】 線状に配列された複数の超音波振動子が受信した信号を所定のスキャン周期でサンプリングしたサンプリングデータを入力し、

該サンプリングデータを複数スキャン周期分記憶し、

前記複数の超音波振動子を複数のブロックに分割し、各ブロック毎にそれぞれ別のスキャン周期のサンプリングデータを読み出し、

各サンプリングデータを移相することによって、所定のサンプリング面の連続したサンプリングデータ列を形成し、

該サンプリングデータを用いて所定方向に受波ビームを形成する受波ビーム形成方法。

【請求項 10】 円弧状に配列された複数の超音波振動子を有する受信トランスデューサの各超音波振動子が受信したエコー信号を、該超音波振動子の数よりも少ない系統に多重化するマルチプレクサと、

各系統において各超音波振動子のエコー信号の各々を、所定のスキャン周期で繰り返しサンプリングして複素サンプリングデータを出力する A/D 変換器と、

前記複数の超音波振動子を受波ビーム形成方向における位置に応じて複数のブロックに分割し、各ブロック毎にそれぞれ別のスキャン周期のサンプリングデータを選択し、選択された各複素サンプリングデータを用いて前記受波ビーム形成方向の受波ビームを形成する信号処理部と、

を備えた受波ビーム形成装置。

【請求項 11】 前記受信トランスデューサは、円周状に配列された複数の超音波振動子からなり、

前記信号処理部は、一部円弧状の超音波振動子を選択して前記円弧状に配列された複数の超音波振動子とし、前記一部円弧状の超音波振動子の選択を順次切り換えることにより受波ビーム形成方向を回転させる請求項 10 に記載の受波ビーム形成装置。

【請求項 12】 円周状に配列された複数の超音波振動子から一部円弧状の超音波振動子を選択し、該円弧の中心方向の受波ビーム形成を形成するマッチドフィルタであって、

「前記円周状に配列された複数の超音波振動子の個数 $\times (n - 1) +$ 前記一部円弧状の超音波振動子の個数」の段数を有し、前記円周状に配列された複数の超音波振動子から順次複数のスキャン周期分入力される信号列を、第 n 周期の信号列、第 $n - 1$ 周期の信号列、…、第 2 周期の信号列、第 1 周期のうち前記前記一部円弧状の信号列、の順に記憶するシフトレジスタと、

前記一部円弧状の超音波振動子を前記受波ビーム形成方向における位置に応じて n 個のブロックに分割し、ビーム方向に最も近いブロックの超音波振動子の信号は第 n 周期の信号列から取り出し、ビーム方向に 2 番目に近いブロックの超音波振動子の信号は第 $n - 1$ 周期の信号列から取り出し、…、ビーム方向から 2 番目に遠いブロックの超音波振動子の信号は第 2 周期の信号列から取り出し、ビーム方向から最も遠いブロックの超音波振動子の信号は第 1 周期の信号列から取り出して、それぞれ対応する係数を乗算する複数の乗算器と、

各乗算器の乗算結果を加算して相関データとして出力する加算器と、

を備えたマッチドフィルタ。

【請求項 13】 一部切欠円周状に配列された複数の超音波振動子から一部円弧状の超音波振動子を選択し、該円弧の中心方向の受波ビーム形成を形成するマッチドフィルタであって、

前記一部切欠円周状に配列された複数の超音波振動子の段数を有する n 個のシフトレジスタ、および、前記一部円弧状の超音波振動子の段数を有するシフトレジスタを並列に接続して、前記一部切欠円周状に配列された複数の超音波振動子から順次複数のスキャン周期分入力される信号列を、第 $n + 1$ 周期の信号列、第 n 周期の信号列、第 $n - 1$ 周期の信号列、…、第 2 周期の信号列、第 1 周期のう

ち前記前記一部円弧状の超音波振動子の信号列、の順に各スキャン周期の信号列毎に各シフトレジスタ間を並列にロードしながら記憶し、

前記一部円弧状の超音波振動子を前記受波ビーム形成方向における位置に応じて n 個のブロックに分割し、ビーム方向に最も近いブロックの超音波振動子の信号は第 n 周期の信号列から取り出し、ビーム方向に 2 番目に近いブロックの超音波振動子の信号は第 $n - 1$ 周期の信号列から取り出し、…、ビーム方向から 2 番目に遠いブロックの超音波振動子の信号は第 2 周期の信号列から取り出し、ビーム方向から最も遠いブロックの超音波振動子の信号は第 1 周期の信号列から取り出して、それぞれ対応する係数を乗算する複数の乗算器と、

各乗算器の乗算結果を加算して相関データとして出力する加算器と、

を備えたマッチドフィルタ。

【請求項 1 4】 前記複数の超音波振動子から入力される信号列は複素サンプリングデータ列であり、

前記シフトレジスタを信号列の実数部データ用および虚数部データ用に 2 系統備え、

前記複数の乗算器および加算器を、実数部データ \times 実数部係数用、虚数部データ \times 虚数部係数用、実数部データ \times 虚数部係数用、虚数部データ \times 実数部係数用の 4 系統備え、

実数部データ \times 実数部係数の加算結果および虚数部データ \times 虚数部係数の加算結果を減算することによって相関値の実数部を割り出し、実数部データ \times 虚数部係数の加算結果および実数部データ \times 虚数部係数の加算結果を加算することによって相関値の虚数部を割り出す出力部と、

を備えた請求項 1 2 または請求項 1 3 に記載のマッチドフィルタ。

【請求項 1 5】 それぞれ異なる距離に受波ビームの焦点が結ぶよう前記係数を複数組備えた請求項 1 2、請求項 1 3 または請求項 1 4 に記載のマッチドフィルタ。

【請求項 1 6】 線状に配列された複数の超音波振動子が受信した信号を所定のスキャン周期でサンプリングしたサンプリングデータを入力し、該サンプリングデータを複数スキャン周期分記憶する記憶手段と、

前記複数の超音波振動子を複数のブロックに分割し、各ブロック毎にそれぞれ別のスキャン周期のサンプリングデータを前記記憶手段から読み出し、読み出した各サンプリングデータを用いて所定方向に受波ビームを形成するビーム形成手段と、

を備えた受波ビーム形成装置。

【請求項 1 7】 前記受波ビーム形成方向の前記線状に配列された複数の超音波振動子に対する角度に応じて各ブロック毎のスキャン周期の選択を変更する請求項 1 6 に記載の受波ビーム形成装置。

【請求項 1 8】 前記ビーム形成手段は、読み出した各サンプリングデータと所定の係数とを乗算することによって所定方向に受波ビームを形成するマッチドフィルタであり、

該マッチドフィルタは、それぞれ異なる距離に受波ビームの焦点が結ぶ複数組の係数を備えた請求項 1 6 または請求項 1 7 に記載の受波ビーム形成装置。

【請求項 1 9】 線状に配列された複数の超音波振動子が受信した信号を所定のスキャン周期でサンプリングしたサンプリングデータを入力し、該サンプリングデータを複数スキャン周期分記憶する記憶手段と、

前記複数のスキャン周期のサンプリングデータを移相または補間することによって、所定角度のサンプリング面の連続したサンプリングデータ列を形成するサンプリング面生成手段と、

該サンプリングデータを用いて所定方向に受波ビームを形成するビーム形成手段と、

を備えた受波ビーム形成装置。

【請求項 2 0】 複数の超音波振動子が受信した信号の各々を、所定のスキャン周期で繰り返しサンプリングし、

複数のスキャン周期でサンプリングしたサンプリングデータに基づいて受波ビームを形成する受波ビーム形成方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

この発明は、ソナーや超音波診断装置などにおいて、短パルスの受信波から受波ビームを形成する受波ビーム形成方法、受波ビーム形成装置およびマッチドフィルタに関する。

【0002】

【従来の技術】

超音波振動子であるエレメントを複数配列した受信アレイを用いて受波ビームを形成する装置としては、各エレメント毎に遅延回路を接続した時間領域ビームフォーマや各エレメント毎に位相シフト回路を接続した周波数領域ビームフォーマが実用化されている。これらの装置を使用すれば、短パルスの受信波に対しても受波ビームを形成することができるが、大規模な回路が必要になるため、比較的周波数が低い軍用など一部の装置以外には使用されていない。

【0003】

一方、一般的に使用されるソナー装置などでは、全てのエレメントに個別に遅延回路などを接続することは装置の規模やコストなどの問題から不可能であるため、各エレメントが受信した信号を所定の周期ごとに順次サンプリングし、このサンプリングデータを用いてビームを形成するようにしている。したがって、各エレメントの受信信号を継続的に監視することができないため、受信アレイ全体（少なくとも受波ビーム形成に用いられる全てのエレメント）に一様に受信波がかかるほどパルス幅が長いものであることを前提として受波ビームを形成している。この方式の例として、アナログの移相器方式、複素DFTによる方式、マッチドフィルタ方式などがある。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、上記のように受信アレイ全体に一様に受信波がかかることを前提とした装置では、受信波のパルス幅が短くなり、受波ビームの形成に必要なエレメントに同時に受信波が入力されないとビーム形成の性能は著しく低下する。

【0005】

一方、たとえば海底探査ソナーにおいて高精度に海底検出するためには、送信パルス幅を短くして受信波（反射エコー）のパルス幅を短くする必要がある。ま

た、海底探査ソナー以外の一般のソナーや超音波診断装置においても同様に、高分解能を得るために短パルス化やFM変調によるパルス圧縮が行われるようになり、上記従来の受波ビーム形成方式では性能の低下が問題になる。

【0006】

図19、図20を参照して一般的な受信アレイに短パルス波が到来したときの状態を説明する。

図19は一部切欠の円筒形受信アレイを示している。この受信アレイは、たとえば半径：125mmで1.5°おきに160個のエレメントを配置したものであり、アレイ範囲は $1.5 \times 159 = 238.5^\circ$ になる。この受信アレイの受信波を処理する受信回路は、約90°の範囲の60個のエレメントを用いて1ビームを形成し、1.5°ごとに101個のビームを形成して、150°の範囲にビームをスキャンすることができる。

【0007】

ここで、受信波が320kHzであるとする、アレイの一番前面（ビーム方向に一番近いアレイ）とアレイの一番後方では約7.5波長の距離がある。受信波が短パルス波であり6周期分のパルス幅しかない場合には、図19に示すようにその方向のビーム形成に必要な90°範囲のアレイに同時に受信波がかかることはなく、全アレイを使用した受波ビームの形成ができない。

【0008】

また、図20は、直線状にエレメントを配列したリニアアレイの例を示している。このリニアアレイは、0.5波長ごとに80素子のエレメントを配置したものである。アレイのほぼ正面から受信波が到来した場合には、その受信波が6周期程度の短パルスであっても受信波は同時に全アレイにかかる。しかし、この短パルスの受信波が-60°の角度から到来した場合には、リニアアレイのごく一部にしか同時に受信波がかからず、ビーム形成の性能すなわちビーム幅、感度などが著しく低下する。

【0009】

この発明は、上記課題に鑑み、短パルスの受信波やパルスの立ち上がり時や立ち下がり時に発生する一様でない受信波に対しても鋭いビームを感度よく形成す

ることができる受波ビーム形成方法、受波ビーム形成装置およびマッチドフィルタを提供することを目的とする。

【0 0 1 0】

【課題を解決するための手段】

請求項 1 の発明は、円弧状に配列された複数の超音波振動子を、受波ビーム形成方向における位置に応じて複数のブロックに分割し、

各超音波振動子が受信した信号の各々を、所定のスキャン周期で繰り返しサンプリングし、

各ブロック毎にそれぞれ別のスキャン周期のサンプリングデータを選択し、選択されたサンプリングデータに基づいて受波ビームを形成することを特徴とする。

【0 0 1 1】

ここで、スキャン周期とは、前記円弧状に配列された（または後述の直線状に配列された）複数の超音波振動子が受信した信号を各 1 回とりサンプリングする周期である。

【0 0 1 2】

請求項 2 の発明は、請求項 1 の発明において、前記複数の超音波振動子が受信する信号は、前記円弧に配列された複数の超音波振動子の受波ビーム形成方向における長さよりも短いパルス信号であることを特徴とする。

【0 0 1 3】

請求項 3 の発明は、請求項 1 の発明において、前記複数の超音波振動子が受信する信号は、徐々に振幅が大きくなってゆく増加波または徐々に振幅が小さくなってゆく減衰波であることを特徴とする。

【0 0 1 4】

請求項 4 の発明は、円周状に配列された複数の超音波振動子から一部円弧状の超音波振動子を選択して、請求項 1 に記載の円弧状に配列された複数の超音波振動子とし、前記一部円弧状の超音波振動子の選択を順次切り換えることにより受波ビーム形成方向を回転させることを特徴とする。

【0 0 1 5】

請求項 5 の発明は、線状に配列された複数の超音波振動子を複数のブロックに分割し、

各超音波振動子が受信した信号の各々を、所定のスキャン周期で繰り返しサンプリングし、

各ブロック毎に別のスキャン周期のサンプリングデータを選択し、

選択されたサンプリングデータに基づいて所定方向に受波ビームを形成することとを特徴とする。

【 0 0 1 6 】

請求項 6 の発明は、請求項 5 の発明において、前記複数の超音波振動子が受信する信号は、前記線状に配列された複数の超音波振動子の前記所定方向から見た奥行きよりも短いパルス信号であることを特徴とする。

【 0 0 1 7 】

請求項 7 の発明は、請求項 5 の発明において、前記複数の超音波振動子が受信する信号は、徐々に振幅が大きくなってゆく増加波または徐々に振幅が小さくなってゆく減衰波であることを特徴とする。

【 0 0 1 8 】

請求項 8 の発明は、請求項 5 ～ 7 の発明において、前記受波ビーム形成方向の前記線状に配列された複数の超音波振動子に対する角度に応じて各ブロック毎のスキャン周期の選択を変更することを特徴とする。

【 0 0 1 9 】

請求項 9 の発明は、線状に配列された複数の超音波振動子が受信した信号を所定のスキャン周期でサンプリングしたサンプリングデータを入力し、

該サンプリングデータを複数スキャン周期分記憶し、

前記複数の超音波振動子を複数のブロックに分割し、各ブロック毎にそれぞれ別のスキャン周期のサンプリングデータを読み出し、

各サンプリングデータを移相することによって、所定のサンプリング面の連続したサンプリングデータ列を形成し、

該サンプリングデータを用いて所定方向に受波ビームを形成することとを特徴とする。

【 0 0 2 0 】

請求項 1 0 の発明は、円弧状に配列された複数の超音波振動子を有する受信トランスデューサの各超音波振動子が受信したエコー信号を、該超音波振動子の数よりも少ない系統に多重化するマルチプレクサと、

各系統において各超音波振動子のエコー信号の各々を、所定のスキャン周期で繰り返しサンプリングして複素サンプリングデータを出力する A/D 変換器と、

前記複数の超音波振動子を受波ビーム形成方向における位置に応じて複数のブロックに分割し、各ブロック毎にそれぞれ別のスキャン周期のサンプリングデータを選択し、選択された各複素サンプリングデータを用いて前記受波ビーム形成方向の受波ビームを形成する信号処理部と、

を備えたことを特徴とする。

【 0 0 2 1 】

請求項 1 1 の発明は、請求項 1 0 の発明において、前記受信トランスデューサは、円周状に配列された複数の超音波振動子からなり、

前記信号処理部は、一部円弧状の超音波振動子を選択して前記円弧状に配列された複数の超音波振動子とし、前記一部円弧状の超音波振動子の選択を順次切り換えることにより受波ビーム形成方向を回転させることを特徴とする。

【 0 0 2 2 】

請求項 1 2 の発明は、円周状に配列された複数の超音波振動子から一部円弧状の超音波振動子を選択し、該円弧の中心方向の受波ビーム形成を形成するマッチドフィルタであって、

「前記円周状に配列された複数の超音波振動子の個数 \times ($n - 1$) + 前記一部円弧状の超音波振動子の個数」の段数を有し、前記円周状に配列された複数の超音波振動子から順次複数のスキャン周期分入力される信号列を、第 n 周期の信号列、第 $n - 1$ 周期の信号列、…、第 2 周期の信号列、第 1 周期のうち前記前記一部円弧状の信号列、の順に記憶するシフトレジスタと、

前記一部円弧状の超音波振動子を前記受波ビーム形成方向における位置に応じて n 個のブロックに分割し、ビーム方向に最も近いブロックの超音波振動子の信号は第 n 周期の信号列から取り出し、ビーム方向に 2 番目に近いブロックの超音

波振動子の信号は第 $n - 1$ 周期の信号列から取り出し、…、ビーム方向から 2 番目に遠いブロックの超音波振動子の信号は第 2 周期の信号列から取り出し、ビーム方向から最も遠いブロックの超音波振動子の信号は第 1 周期の信号列から取り出して、それぞれ対応する係数を乗算する複数の乗算器と、

各乗算器の乗算結果を加算して相関データとして出力する加算器と、

を備えたことを特徴とする。

【0 0 2 3】

請求項 1 3 の発明は、一部切欠円周状に配列された複数の超音波振動子から一部円弧状の超音波振動子を選択し、該円弧の中心方向の受波ビーム形成を形成するマッチドフィルタであって、

前記一部切欠円周状に配列された複数の超音波振動子の段数を有する n 個のシフトレジスタ、および、前記一部円弧状の超音波振動子の段数を有するシフトレジスタを並列に接続して、前記一部切欠円周状に配列された複数の超音波振動子から順次複数のスキャン周期分入力される信号列を、第 $n + 1$ 周期の信号列、第 n 周期の信号列、第 $n - 1$ 周期の信号列、…、第 2 周期の信号列、第 1 周期のうち前記前記一部円弧状の超音波振動子の信号列、の順に各スキャン周期の信号列毎に各シフトレジスタ間を並列にロードしながら記憶し、

前記一部円弧状の超音波振動子を前記受波ビーム形成方向における位置に応じて n 個のブロックに分割し、ビーム方向に最も近いブロックの超音波振動子の信号は第 n 周期の信号列から取り出し、ビーム方向に 2 番目に近いブロックの超音波振動子の信号は第 $n - 1$ 周期の信号列から取り出し、…、ビーム方向から 2 番目に遠いブロックの超音波振動子の信号は第 2 周期の信号列から取り出し、ビーム方向から最も遠いブロックの超音波振動子の信号は第 1 周期の信号列から取り出して、それぞれ対応する係数を乗算する複数の乗算器と、

各乗算器の乗算結果を加算して相関データとして出力する加算器と、

を備えたことを特徴とする。

【0 0 2 4】

請求項 1 4 の発明は、請求項 1 2、1 3 の発明において、前記複数の超音波振動子から入力される信号列は複素サンプリングデータ列であり、

前記シフトレジスタを信号列の実数部データ用および虚数部データ用に 2 系統備え、

前記複数の乗算器および加算器を、実数部データ×実数部係数用、虚数部データ×虚数部係数用、実数部データ×虚数部係数用、虚数部データ×実数部係数用の 4 系統備え、

実数部データ×実数部係数の加算結果および虚数部データ×虚数部係数の加算結果を減算することによって相関値の実数部を割り出し、実数部データ×虚数部係数の加算結果および実数部データ×虚数部係数の加算結果を加算することによって相関値の虚数部を割り出す出力部と、

を備えたことを特徴とする。

【 0 0 2 5 】

請求項 1 5 の発明は、請求項 1 2 ～ 1 4 の発明において、それぞれ異なる距離に受波ビームの焦点が結ぶよう前記係数を複数组備えたことを特徴とする。

【 0 0 2 6 】

請求項 1 6 の発明は、線状に配列された複数の超音波振動子が受信した信号を所定のスキャン周期でサンプリングしたサンプリングデータを入力し、該サンプリングデータを複数スキャン周期分記憶する記憶手段と、

前記複数の超音波振動子を複数のブロックに分割し、各ブロック毎にそれぞれ別のスキャン周期のサンプリングデータを前記記憶手段から読み出し、読み出した各サンプリングデータを用いて所定方向に受波ビームを形成するビーム形成手段と、

を備えたことを特徴とする。

【 0 0 2 7 】

請求項 1 7 の発明は、請求項 1 6 の発明において、前記受波ビーム形成方向の前記直線に対する角度に応じて各ブロック毎のスキャン周期の選択を変更することを特徴とする。

【 0 0 2 8 】

請求項 1 8 の発明は、請求項 1 6、1 7 の発明において、前記ビーム形成手段は、読み出した各サンプリングデータと所定の係数とを乗算することによって所

定方向に受波ビームを形成するマッチドフィルタであり、

該マッチドフィルタは、それぞれ異なる距離に受波ビームの焦点が結ぶ複数組の係数を備えたことを特徴とする。

【0029】

請求項19の発明は、線状に配列された複数の超音波振動子が受信した信号を所定のスキャン周期でサンプリングしたサンプリングデータを入力し、該サンプリングデータを複数スキャン周期分記憶する記憶手段と、

前記複数のスキャン周期のサンプリングデータを移相または補間することによって、所定角度のサンプリング面の連続したサンプリングデータ列を形成するサンプリング面生成手段と、

該サンプリングデータを用いて所定方向に受波ビームを形成するビーム形成手段と、

を備えたことを特徴とする。

【0030】

請求項20の発明は、複数の超音波振動子が受信した信号の各々を、所定のスキャン周期で繰り返しサンプリングし、

複数のスキャン周期でサンプリングしたサンプリングデータに基づいて受波ビームを形成することを特徴とする。

【0031】

《《原理の説明》》

この発明の原理を図1～図5を参照して説明する。

【0032】

図1は円筒形の受信アレイを用いた受信回路に本願発明を適用する場合を示す図である。この受信アレイは、上記従来技術で示したものと同様の半径125mmで1.5°おきの160個のエレメント（超音波振動子）で構成された円筒形の受信アレイの一部である。受信回路は、約90°の範囲の60エレメントを使用して1つの受波ビームを形成する。したがって、受信回路は、エレメント0～エレメント59を用いたビーム0から、エレメント100～エレメント159を用いたビーム100までの101個のビームを順次形成する。図1にはビーム0

を形成するエレメント0～エレメント59を示している。ビームは右回りに形成され、ビーム0が最初に形成される。ビーム方向を 0° すると、ビーム0の場合、 $\pm 0.75^\circ$ の位置に先端のエレメント29, 30があり、 $+44.25^\circ$ の位置にエレメント0、 -44.25° の位置にエレメント59がある。

【0033】

受信波の周波数を320kHz、水中の音速を1500m/sとすると、一番前のエレメント29, 30と一番後のエレメント0, 59とは受波ビーム形成方向において約7.5波長分の距離があり、ビーム方向から到来する受信波が一番後のエレメント0, 59に達したとき、その受信波は7.5波長の距離の伝搬時間(7.5周期)前に一番前のエレメント29, 30を通過している。所定のスキャン周期たとえば4波長毎にサンプリングされたサンプリングデータでビームを形成する場合には、前後7.5波長の範囲に配置されているエレメントを前後に2等分し2グループに分けて受波ビームを形成する。すなわち、ビーム方向に対して後ろの方のグループ1(エレメント0～エレメント8、エレメント51～エレメント59)と前の方のグループ2(エレメント9～エレメント50)に分け、グループ1の今回のスキャン周期におけるサンプリングデータとグループ2の前回のスキャン周期におけるサンプリングデータを用いて受波ビームを形成することにより、6波長程度の短いパルス信号でも受信波が全アレイにかかるようにして受波ビームを形成することができ、短いパルスにおけるビーム形成の指向性、感度等を改善することができる。

【0034】

なお、図1はサンプリングをエレメント0からエレメント159に向けて順次行う、いわゆる斜めサンプリングの場合を示しており、この斜めサンプリングのタイミングに最適化したグループ分けは、エレメント番号が大きくなるほどサンプリングタイミングが遅れるため、グループ1(エレメント0～エレメント9、エレメント53～エレメント59)、グループ2(エレメント10～エレメント52)となる。

【0035】

また、図1ではエレメントを前後に2グループ(2ブロック)に分割したが、

分割数は2に限定されるものではなく、任意の正の整数 n に分割することが可能であり、その場合にはそれぞれ別のスキャン周期のサンプリングデータを選択すればよい。

【0036】

図2はリニアアレイを用いた受波ビームの形成に本願発明を適用する場合を示す図である。このリニアアレイは、上記従来技術で説明したものと同様、0.5波長ごとに80のエレメントを直線状に配列したものである。同図は、左側の素子から10素子ずつ階段状にI、Qサンプリングを行う処理を4波長のスキャン周期で15周期 ($N-7 \sim N+7$) 繰り返した場合のサンプリングタイミングのチャートを示している。同図において -60° から到来する受信波を例示しているが、この受信波に対して、全エレメントにわたって同じスキャン周期のサンプリングデータを用いて受波ビームを形成するのではなく、10素子ずつスキャン周期をずらし、図中太線で示すサンプリングデータを用いてビームフォームすることにより、受信波が同時にかかっている幅をAからBに大きく広げることができ、ビーム形成の性能を改善できる。

【0037】

そこで、図3に示すように、単一のスキャン周期で得られるサンプリングデータ列③に対してマッチドフィルタを適用するだけでなく、アレイを複数エリア（同図では8エリア）に分割し、各エリアごとに異なるスキャン周期のサンプリングデータを用いることにより、①、②、④、⑤のように様々な方向に向いたサンプリングデータ列を生成することができる。ビーム方向によって適当なサンプリングデータ列を選択することにより、受信波が短パルスであってもビーム形成の性能を改善できる。リニアアレイであっても、 100° 前後の範囲でビーム形成されるため、各ビームの角度（ビーム番号）に合わせて各エリアのスキャン周期の組み合わせ（サンプリングデータ列）を決定することにより、全てのビームについてビーム形成の性能を改善することが可能である。

【0038】

具体的に、 -59.25° （ビーム0） $\sim +59.25^\circ$ （ビーム79）の範囲で 1.5° ごとに80個のビームを形成する場合を考える。

図3において、サンプリングデータ列①の方向は -56.3° 、サンプリングデータ列②の方向は -35.0° 、サンプリングデータ列③の方向は $+5.7^{\circ}$ 、サンプリングデータ列④の方向は $+41.2^{\circ}$ 、サンプリングデータ列⑤の方向は $+59.5^{\circ}$ になっている。サンプリングデータ列①とサンプリングデータ列②の中間値 -45.64° よりマイナスのビーム番号は、サンプリングデータ列①のデータを使用してビーム形成するようにする。以下同様に、隣り合うサンプリングデータ列の角度の中間でビームを分けると、ビーム番号と適用するサンプリングデータ列の関係は、以下のようになる。

【0039】

ビーム 0 (-59.25°) ~ ビーム 9 (-45.75°) : サンプリングデータ列①
 ビーム 10 (-44.25°) ~ ビーム 29 (-15.75°) : サンプリングデータ列②
 ビーム 30 (-14.25°) ~ ビーム 55 ($+23.25^{\circ}$) : サンプリングデータ列③
 ビーム 56 ($+24.75^{\circ}$) ~ ビーム 73 ($+50.25^{\circ}$) : サンプリングデータ列④
 ビーム 74 ($+51.75^{\circ}$) ~ ビーム 79 ($+59.75^{\circ}$) : サンプリングデータ列⑤
 となる。

【0040】

図4は、さらに、各スキャン周期と次のスキャン周期との間に補間によって新たなサンプリングデータを生成した場合のタイミングチャートを示す図である。上記複数のスキャン周期のデータを用いたサンプリングデータ列の生成方式をさらに改善するためには、4波長で繰り返した斜め階段状のサンプリングをより速いスキャン周期で、たとえば2波長で繰り返すようにすればよいが、装置の多重化処理の都合などで4波長よりも短くできない場合がある。このような場合には、同図に示すように、実際のスキャン周期は、そのままとして各スキャン周期間の補間を行って4波長の中間のサンプリングデータを生成し、サンプリングデータ列の方向を増やしたり、その方向を最適化すればよい。なお、図3のサンプリングデータ列①~サンプリングデータ列⑤の方向は、種々の角度のサンプリングデータ列を生成可能であることを示すための例示であり、ビーム方向の範囲に応じて適宜最適なものを選択すればよい。

【0041】

また、ここでは各スキャン周期のサンプリングデータを斜め階段状のサンプリングデータの場合について説明したが、斜め連続のサンプリングデータや全エレメントを同時にサンプリングした平行サンプリングデータの場合でも同様にこの発明を適用可能である。

【0042】

次に、図5を参照してリニアアレイを用いた受信回路において、複素DFTを用いた受波ビームの形成を改善する方法について説明する。従来は、スキャン周期Nのサンプリングデータ列のみを用いて複素DFTを行い、受波ビームを形成していたが、この方式では、6波長程度の短い受信波が -60° から到来した場合、同図の範囲Aのアレイしか同時に信号が入力されずビーム形成の性能は低下する。

【0043】

一方、サンプリングデータは、位相と振幅の両方の情報を持っており、信号の帯域幅が広くない（広くても中心周波数に対して $\pm 20\%$ 程度の）ソナー信号などの場合、サンプリングデータの補間計算等によって各サンプリングデータを前後にシフトすることが可能で、複数のスキャン周期のサンプリングデータを適宜選択して任意の角度のサンプリング面のサンプリングデータ列を生成することができる。図5に示すように -45° のサンプリング面のサンプリングデータ列を生成すれば、 -60° から到来した6波長の受信波は同図の範囲Bで同時に信号が受信されていることになり、受波ビームの形成をこのサンプリングデータ列で行えばスキャン周期Nのみのサンプリングデータ列を用いた場合よりもビーム形成の精度が改善される。

【0044】

【発明の実施の形態】

図6はこの発明の実施形態である海底探査ソナーのブロック図、図7は同海底探査ソナーのトランスデューサの設置形態を示す図、および、同トランスデューサが形成する送波ビーム、受波ビームを示す図である。

【0045】

まず、図7において、送信トランスデューサ11、受信トランスデューサ12

2はともに、複数の超音波振動子エレメントを1列に配列した超音波振動子アレイからなっている。送信トランスデューサ11は、振動子の配列方向が船首、船尾方向になるように船底に設置され、受信トランスデューサ12は、振動子の配列方向が船側方向になるように船底に設置される。

【0046】

船底には、上記送信トランスデューサ11、受信トランスデューサ12からなるトランスデューサ部1のほかに、送信トランスデューサ11に超音波のバースト信号を印加するとともに、反射エコーを受信してデジタルサンプリングデータに変換する送受信部2が設けられる。そして、船室には、演算処理部3が設けられる。演算処理部は、送受信部2から伝送入力されたサンプリングデータに基づいて受波ビームの形成および海底検出等を行う。

【0047】

送受信部2の送信回路26は、送信トランスデューサ11の各エレメントに対してパルス信号を印加する。送信トランスデューサ11の各エレメントは、このパルス信号によって駆動され、超音波信号を海中に送出する。送信回路26は、320kHzの信号を発振する発振器を内蔵しており、送波ビームが図7(B)に示すように船体の真下に扇形に形成されるように各エレメント毎にタイミングを制御してパルス信号を印加する。このようにして形成される送波ビームは、前後1.5°、左右170°程度の扇形である。このソナー装置では距離検出精度を向上するため各エレメントに入力されるパルス信号のパルス幅は、320kHzで6波程度である。このように真下にビームが形成されるため、船が動いても殆どドップラ効果の影響がなく、海底からの反射エコーは送信時と同じ320kHzのバースト波となる。

【0048】

受信トランスデューサ12は、図8に示すように160個のエレメントを円周上に配置した円筒形状になっている。この受信トランスデューサ12に接続されている送受信部2および演算処理部3は、各エレメントが受信した反射エコーをサンプリングし、マッチドフィルタでリファレンスと比較することによって、図7(B)に示すような前後20°、左右1.5°程度の受波ビームを形成する。

この受波ビームを高速に右から左にスキャンさせ、このスキャンを1回のパルス送信に対して何度も繰り返して行うことにより海底探査を行う。図8において、受信トランスデューサ12は、半径125mmの円筒形状であり、 1.5° 間隔で160個の超音波振動子エレメントが配列されているため、中心角 238.5° で円筒の一部が切り欠かれた形状になっている。

【0049】

受信トランスデューサ12の各エレメントが受信した信号は送受信部2に入力される。送受信部2では、各エレメントが受信した信号を別々のプリアンプ13で増幅するとともに、フィルタ14でろ波し、TVGアンプ15で増幅する。フィルタ14は、送信トランスデューサ11から送信された超音波ビームの周波数(320kHz)付近の周波数以外を除去するバンドパスフィルタである。上述したように反射エコー信号はほぼ320kHzの狭帯域の信号であり、このバンドパスフィルタにより、帯域外の超音波機器の信号や帯域外シーノイズ等のノイズが除去される。

【0050】

TVGアンプ15は、時間可変ゲインアンプであり、送信トランスデューサ11がバースト波を発射したのち時間が経過するとともにゲインを上昇させてゆくアンプである。これはバースト波を発射してから時間が経過するとともに遠くで反射し、伝搬距離が長く信号レベルの小さい反射エコーを受信する必要があるため、これに対応してゲインを高くしてゆくものである。TVGアンプ15の後段にはこのTVGアンプ15のノイズを除去するための簡略なフィルタ16が介挿入されている。こののち、マルチプレクサ17により、160エレメントの信号が10系統に時分割多重化される。第 k ($=0\sim9$) マルチプレクサには、 $10n$ ($=0\sim15$) + k の信号が入力される。すなわち、第0マルチプレクサにはエレメント0, 10, 20, ..., 140, 150の信号が入力され、第1マルチプレクサにはエレメント1, 11, 21, ..., 141, 151の信号が入力され、...、第9マルチプレクサにはエレメント9, 19, 29, ..., 149, 159の信号が入力される。第0～第9マルチプレクサは、同期して全て同じタイミングに入力信号の選択 n を順次切り換えてゆく。

【0051】

10系統に多重化された反射エコー信号は、再度TVGアンプ18で増幅される。一般的なTVGアンプはゲイン制御範囲が40dB程度であり、広い範囲の海底探査を行おうとすれば40dB以上のTVG範囲を必要とするため、このようにTVGアンプを2段にしている。

【0052】

TVGアンプ18で増幅された信号は、AD変換器19によってサンプリングされデジタルサンプリングデータに変換される。AD変換器19のサンプリングタイミングおよびマルチプレクサ17の切換タイミングは、前記送信回路の発振器が発振する信号に基づいて作成される。すなわち、送信パルス（反射エコー信号）の周波数と、マルチプレクサ切換タイミングおよびサンプリングタイミングとは完全に同期している。

【0053】

図9は、AD変換器19のサンプリングタイミングを説明する図である。

【0054】

後段の演算処理部では、反射エコー信号を複素データとして処理するため、サンプリングにおいて複素データ化しておくことが望ましい。しかし、実数値信号にcos信号、sin信号をミキシングして実部I、虚部Qの信号に分離し、別々にサンプリングすることは、回路構成が複雑化するとともに、位相ずれなどによる測定誤差を招く原因になる。

【0055】

そこで、この装置では、受信した反射エコー信号の周波数が安定しており、サンプリングクロックがこれに完全に同期していることを利用し、90°の位相差で2回サンプリングすることによって一方を実部(In-phase)のデータとし、他方を虚部(Quadrature)のデータとして用いることにより、複素サンプリングデータを生成するようにしている。さらに、この装置では、反射エコー信号を90°の位相差で4回(0°、90°、180°、270°)サンプリングし、0°サンプリングデータと180°サンプリングデータを組み合わせ、且つ、90°サンプリングデータと270°サンプリングデータを組み合

わせることによって反射エコー信号のDCバイアス成分を除去するようにしている。

【0056】

また、上記のように160エレメントの信号を時分割で10系統に多重化しているため、各系統は、16のエレメントを担当することになる。各系統では、反射エコーの周波数320kHzの1波長(1λ)の時間に4エレメントの信号をサンプリングし、4波長で16エレメントの信号をサンプリングするようにしている。

【0057】

図9を参照してサンプリングタイミングについて詳細に説明する。AD変換器AD0にはマルチプレクサ16を介してエレメント10n+0, (n=0, 1, ..., 15: 以下同じ)の信号が選択的に入力される。また、AD変換器AD1にはマルチプレクサ16を介してエレメント10n+1の信号が選択的に入力される。同様にAD変換器ADk, (k=0, 1, ..., 9: 以下同じ)には、エレメント10n+kの信号が選択的に入力される。各AD変換器は1/16λ(0.195625μ秒)毎に入力信号をサンプリングする。したがって1λの間に16回サンプリングが行われる。

【0058】

最初の1波長の間、各AD変換器ADkは、エレメントk、エレメント10+k、エレメント20+k、エレメント30+kを1サンプリング毎に切り換えて4回ずつサンプリングする。これにより、各エレメントの信号は、1/16λ×4=1/4λ、すなわち90°の間隔で4回サンプリングされることになるため、各エレメント毎に(相対的に)0°、90°、180°、270°の4つのデータを得ることができる。

【0059】

次の1波長の間、各AD変換器ADkは、エレメント40+k、エレメント50+k、エレメント60+k、エレメント70+kを1サンプリング毎に切り換えて4回ずつサンプリングする。さらに次の1波長の間、各AD変換器ADkは、エレメント80+k、エレメント90+k、エレメント100+k、エレメン

ト $110+k$ を 1 サンプリグ毎に切り換えて 4 回ずつサンプリグする。さらに次の 1 波長の間、各 AD 変換器 ADk は、エレメント $120+k$ 、エレメント $130+k$ 、エレメント $140+k$ 、エレメント $150+k$ を 1 サンプリグ毎に切り換えて 4 回ずつサンプリグする。このようにして、4 波長の中に、全てのエレメントについて 4 つ (0° 、 90° 、 180° 、 270°) のデータを得ることができる。この 4 波長の間処理が 1 スキャン周期の処理である。

【0060】

なお、各 AD 変換器 ADk 、($k=0\sim9$) のサンプリグタイミングは、完全に同期しており、サンプリグ終了後のマルチプレクサ 16 の切り換えも同時である。AD 変換器 ADk として 20MHz 程度の高速 AD 変換器を使用すれば、サンプリグ直前の入力だけがサンプリグデータに影響するため、入力信号のサンプリグを行った直後に、マルチプレクサの切り換え、後段の TVG アンプの応答を実行することにより、次のサンプリグタイミング (0.195625μ 秒後) までには、マルチプレクサの選択信号の作動と AD 変換器の出力データの変化で発生した雑音は十分に減衰しているため、次のサンプリグに悪影響を及ぼさない。また、上記のように 10 系統のマルチプレクサ、AD 変換器の切り換えを同期して行っているため、ある系統の切換ノイズが他の系統に侵入して悪影響を及ぼすこともない。

【0061】

このようにマルチプレクサによる切り換えで多重化をした場合のノイズを防止するためこのソナー装置では斜め階段状のサンプリグタイミングを採用している。

【0062】

各エレメントのサンプリグデータは平均処理回路 20 に入力される。平均処理回路 20 は、各エレメント毎に、 0° サンプリグデータと 180° サンプリグデータ、および、 90° サンプリグデータと 270° サンプリグデータの対で平均処理を行う。送信周波数 (反射エコー周波数) と同じクロックでタイミングを設定されたサンプリグデータであるため、 0° サンプリグデータと 180° サンプリグデータ、および、 90° サンプリグデータと 270° サ

ンプリングデータは、それぞれ殆ど同じ振幅レベルで極性が異なる値になっているはずである。したがって、 $(0^\circ \text{ サンプリングデータ} - 180^\circ \text{ サンプリングデータ}) / 2$ の平均処理を行うことにより、DCオフセット成分をキャンセルした 0° サンプリングデータ（実部データ R）を算出することができる。なお、DCオフセット成分は、正負非対称での AC 結合や AD 変換器のオフセット誤差によって発生するものである。また、 90° サンプリングデータと 270° サンプリングデータについても、 $(90^\circ \text{ サンプリングデータ} - 270^\circ \text{ サンプリングデータ}) / 2$ の平均処理を行うことにより、DCオフセット成分をキャンセルした 90° サンプリングデータ（虚部データ I）を算出することができる。これら実部データ R と虚部データ I を複素サンプリングデータとして出力する。

【0063】

図 10 は平均処理回路 20 が出力するサンプリングデータのタイミングを示す図である。平均処理回路 20 が出力するサンプリングデータは、同図折線 a に示すような斜め階段状のサンプリング時刻のものである。すなわち、 0° 、 90° 、 180° 、 270° の 4 回サンプリングしているが、 180° サンプリングデータ、 270° サンプリングデータは DC オフセット成分を除去するために用いられ、 90° サンプリングデータは虚部データとして用いられるため、結局は 0° サンプリングデータのタイミングの複素サンプリングデータとして演算処理部 3 に入力される。

【0064】

この複素サンプリングデータは、光ファイバ等で結合された高速リンクにより船室の演算処理部 3 に伝送される。なお、送受信部 2 の AD 変換器 19 以後はデジタル処理であるため、サンプリングデータの伝送タイミングがこの同図の階段状折線 a のタイミングに正確に一致している必要はなく、以下の演算処理がリアルタイムに実行できるように送受信部 2 から演算処理部 3 に入力されればよい。すなわち、階段状のサンプリングデータのうち、たとえばエレメント 0 のデータ～エレメント 9 のデータは同タイミングのものであるが、送受信部 2 から演算処理部 3 への伝送はシリアルに行われ、演算処理部 3 の処理においてこれらのデータが同タイミングのものとして処理される。

【0065】

図8に示すように、受信トランスデューサ12は、 1.5° 間隔で160個のエレメントを有する中心角 238.5° の円筒形状になっているが、受波ビームの形成には、ビーム方向を中心とする約 90° の範囲の60エレメントが使用される。エレメント0～エレメント59で受波ビームを形成する場合、ビーム方向は、エレメント29、エレメント30間の方向であり、この方向を 0° とすると、エレメント0は、 44.25° の方向になり、エレメント59は、 -44.25° の方向になる。

【0066】

演算処理部3は、連続する60エレメントで受波ビームを形成し、これを右から左にスキャンする。すなわち、エレメント0～エレメント59で形成する受波ビーム（ビーム0）からエレメント100～エレメント159で形成する受波ビーム（ビーム100）までの101の受波ビームを連続して形成する。

【0067】

ここで、上記のように受信トランスデューサ12は、半径が125mmであるため、ビーム方向に対して一番前のエレメント29、30と、一番後ろのエレメント0、59とは約7.5波長分の距離がある。すなわち、

$$125 \times (1 - \sqrt{1/2}) / (1500 / 320) \doteq 7.5$$

である。

【0068】

上述したように、この海底探査ソナーでは、送信トランスデューサ11から送信するバースト波のパルス幅を6波長程度に短かくし探査精度の向上を図っている。このため、反射エコーのパルス幅も短くなり、反射エコーが受波ビーム形成用の60のエレメントに同時に掛からない。そこで、演算処理部3では、2スキャン周期分（前回と今回）のサンプリングデータを用いることで全てのエレメントで反射エコーを受信して受波ビームを形成できるようにしている。すなわち、スキャン周期は4波長ごとであり、前回のサンプリングから今回のサンプリングまでの間に反射エコーは4波長の距離を進んでいるため、反射エコーの長さが6波長であっても、 $6\lambda + 4\lambda$ の範囲に反射エコーがかかることになり、7.5波

長の距離をカバーすることができる。

【 0 0 6 9 】

このため、後ろの方のグループ 1（エレメント 0～エレメント 9、エレメント 5 3～エレメント 5 9）と前の方のグループ 2（エレメント 1 0～エレメント 5 2）に分け、反射エコーが遅く到達するグループ 1 については今回のスキャン周期にサンプリングしたデータを用い、反射エコーが速く到達するグループ 2 については今回のスキャン周期から 4 波長前の時間帯にサンプリングされた前回のスキャン周期のサンプリングデータを用いてビーム形成を行う。

【 0 0 7 0 】

なお、上記グループ 1、グループ 2 はサンプリングデータを斜め階段状サンプリングの場合のグループ分けであり、同タイミングのデータをサンプリングした場合には、グループ 1 がエレメント 0～エレメント 8 およびエレメント 5 1～エレメント 5 9、グループ 2 がエレメント 9～エレメント 5 0 となる。

【 0 0 7 1 】

図 1 1 は、演算処理部 3 のビーム形成部 2 2 の構成を示す図である。ビーム形成部 2 2 は 6 0 点の複素マッチドフィルタによって受波ビームの形成を行う回路である。このビーム形成部は、従来のマッチドフィルタである 6 0 段のシフトレジスタ 5 1、6 1 に加えて 1 0 7 段のシフトレジスタ 5 2、6 2、4 3 段のシフトレジスタ 5 3、6 3 を備えている。シフトレジスタ 5 1、5 2、5 3 およびシフトレジスタ 6 1、6 2、6 3 は、それぞれ別々に縦列接続されている。

【 0 0 7 2 】

前段の受信部から 0° サンプリングデータすなわち複素サンプリングデータの実部データが入力され、この 0° サンプリングデータは、シフトレジスタ 5 1 の入力端子に入力される。また、前段の受信部から 9 0° サンプリングデータすなわち複素サンプリングデータの虚部データが入力され、この 9 0° サンプリングデータは、シフトレジスタ 6 1 の入力端子に入力される。6 0 段のシフトレジスタ 5 1、6 1 の後端に今回のサンプリングサイクルのエレメント 5 9 のサンプリングデータが入力されたとき、ビーム番号 0 のビームが形成される。次に、1 シフトし、後端にエレメント 6 0 のサンプリングデータが入力されたときビーム番

号 1 のビームが形成される。このように、ビーム番号を + 1 するとき、サンプリングデータのみ 1 シフトし、乗算器の係数 (C_{Rn} 、 C_{In} で表示) は固定でよい。

【 0 0 7 3 】

C_{Rn} 、 C_{In} は複素マッチドフィルタの係数で、窓処理の重み付け、サンプリングタイミング差、素子位置と音速の関係を補正する係数である。マッチドフィルタは全体として、各素子の受信信号のベクトルを合わせるように加算することでビームを形成する。ここで、60 段のシフトレジスタ 5 1、6 1 は、エレメント 0 ~ エレメント 9、エレメント 5 3 ~ エレメント 5 9 のサンプリングデータの出力タップを有し、43 段のシフトレジスタ 5 3、6 3 では、エレメント 1 0 ~ エレメント 5 2 のサンプリングデータの出力タップを有している。

【 0 0 7 4 】

0° サンプリングデータすなわち複素サンプリングデータの実部データは、60 段のシフトレジスタ 5 1、107 段のシフトレジスタ 5 2、43 段のシフトレジスタ 5 3 に順次入力される。また、90° サンプリングデータは、60 段のシフトレジスタ 6 1、107 段のシフトレジスタ 6 2、43 段のシフトレジスタ 6 3 に順次入力される。

【 0 0 7 5 】

同図において、 R_{Nn} 、 R_{0n} は 0° サンプリングデータ (実部データ) を示し、 R_{Nn} は今回のスキャン周期でサンプリング入力されたデータ、 R_{0n} は前回のスキャン周期でサンプリング入力されたデータを示す。また、 I_{Nn} 、 I_{0n} は 90° サンプリングデータ (虚部データ) であり、 I_{Nn} は今回のスキャン周期でサンプリング入力されたデータ、 I_{0n} は前回のスキャン周期でサンプリング入力されたデータを示す。そして、 C_{Rn} 、 C_{In} は、複素マッチドフィルタのリファレンス係数を示し、 C_{Rn} はリファレンスの実部係数、 C_{In} はリファレンスの虚部係数を示す。添字の数字はビーム中のエレメント番号である。なお、同図において、乗算されるリファレンス係数 C_{Rn} 、 C_{In} およびサンプリングデータ R_{Nn} 、 R_{0n} 、 I_{Nn} 、 I_{0n} には、ともに 0 ~ 5 9 の番号が付されており、このうちリファレンス係数 C_{Rn} 、 C_{In} は 0 ~ 5 9 の番号で示される固定された値であるが、サンプリングデー

タ R_{Nn} , R_{On} , I_{Nn} , I_{On} には、シフトレジスタに順次入力されるエレメント 0 ~ 1 5 9 のデータが、順次割り当てられる。このとき、 $n = 2 9, 3 0$ に割り当てられたエレメントの方向をビーム方向として受波ビームが形成される。

【 0 0 7 6 】

図示のようにマッチドフィルタは、 RR 、 IR 、 RI 、 II の 4 系列からなっている。 RR は、 R_{Nn} , R_{On} (実部データ)、と C_{Rn} (実部係数) との相関度を算出するフィルタであり、60 個の乗算器 5 5 がリファレンス係数 C_{Rn} と、そのタイミング (ビーム方向) で対応する 0° サンプリングデータとの乗算を行い、加算器 5 6 がその乗算結果を加算する。また、 $I \cdot I$ は、 I_{Nn} , I_{On} (虚部データ)、と C_{In} (虚部係数) との相関度を算出するフィルタであり、60 個の乗算器 5 7 がリファレンス係数 C_{In} と、そのタイミング (ビーム方向) で対応する 90° サンプリングデータとの乗算を行い、加算器 5 8 がその乗算結果を加算する。加算器 5 5 の加算結果すなわち RR 系統のフィルタ出力 (RR) および II 系統のフィルタ出力 (II) は減算器 7 1 に入力され $(RR) - (II)$ の演算が行われ、複素サンプリングデータの実部と複素リファレンス係数の実部との位相の相関値が算出される。すなわち、

【 0 0 7 7 】

【数 1】

$$C_1 \cdot C_2 = M_1 e^{j\theta_1} \cdot M_2 e^{j\theta_2} = M_1 \cdot M_2 e^{j(\theta_1 + \theta_2)} \quad ; |C_2| = 1$$

$$C_1 \cdot C_2 = (R + jI) (CR + jCI) = (R \cdot CR - I \cdot CI) + j(I \cdot CR + R \cdot CI)$$

【 0 0 7 8 】

の演算が実行され、実部データと実部係数の相関が算出される。

【 0 0 7 9 】

一方、 IR は、 I_{Nn} , I_{On} (虚部データ)、と C_{Rn} (実部係数) との相関度を算出するフィルタであり、60 個の乗算器 6 5 がリファレンス係数 C_{Rn} と、そのタイミング (ビーム方向) で対応する 90° サンプリングデータとの乗算を行い、加算器 6 6 がその乗算結果を加算する。また、 $R \cdot I$ は、 R_{Nn} , R_{On} (実部データ)、と C_{In} (虚部データ) との相関度を算出するフィルタであり、60 個の乗算器 6 7 がリファレンス係数 C_{In} と、そのタイミング (ビーム方向) で対応す

る 0° サンプリングデータとの乗算を行い、加算器 68 がその乗算結果を加算する。加算器 65 の加算結果すなわち IR 系統のフィルタ出力 (IR) および RI 系統のフィルタ出力 (RI) は加算器 72 に入力され (IR) + (RI) の演算が行われ、複素サンプリングデータの実部と複素リファレンス係数の実部との位相の相関値が算出される。すなわち、上記〔数 1〕の演算が実行される。

【0080】

減算器 71 および加算器 72 の演算結果は、振幅検出部 73 に入力される。振幅検出部 73 は、この演算結果に基づいて受波ビームの振幅を求める。この振幅は、 $(I^2 + Q^2)^{1/2}$ で求めることができ、ハード処理する場合は、テーブルや近似処理する回路などを用いればよい。取出回路 74 は、図 8 に示すように受信トランスデューサの全周に素子がないために必要になる回路で、シフトレジスタのクロックの 59~159 の 101 ビームを取り出す。この 101 ビームは、上記したようにエレメント 29-30 間方向のビーム 0 からエレメント 129-130 間方向のビーム 100 までの 101 個のビームである。

【0081】

なお、入力の 0° サンプリングデータと 90° サンプリングデータが円周に沿った同タイミングのデータの場合、マッチドフィルタは、60 段のシフトレジスタ 51, 61 の前 30 段と後 30 段で対称となり、シフトレジスタを中央で折り返すようにして加算後に乗算するようにすれば乗算器の数を $1/2$ にできる。これは 43 段シフトレジスタにも適用することができ、この場合、同時サンプリングであるため、 $n=9\sim50$ の 42 段シフトレジスタとなる。

【0082】

図 12 は、図 8 に示す一部切欠の円筒形トランスデューサを用いたビーム形成部の他の実施形態を示す図である。図 11 のマッチドフィルタをハード回路で実現すると、サンプリングデータと係数との乗算部分が一番大きく、乗算器の時分割使用が必要である。図 11 のビーム形成部では実際に受波ビームを形成できない時間範囲 ($n=0\sim59$ の範囲にデータの不連続点 (エレメント 159-エレメント 0) が存在する時間範囲) であってもフィルタ演算を行い、取出回路 74 でこのデータを捨てていたが、図 12 のビーム形成部では、図 11 のビーム形成

部に並列ロードシフトレジスタを追加することにより、上記無駄な演算をなくし、必要な乗算および加算の回数を減らすことで、回路規模を軽減を可能にしている。図 11 のビーム形成部では、RR, IR, RI, II の 4 つの複素マッチドフィルタの 240 個の乗算を、1 秒間にスキャン周期 $(320 \text{ kHz} / 4) \times$ データシフト回数 $(160) = 12800000$ 回実行する必要があったが、図 12 のビーム形成部ではフィルタ演算の回数が実際にビームを形成する 101 回でよいため、1 秒当たりの演算回数を $(320 \text{ kHz} / 4) \times 101 = 8080000$ 回に軽減することができる。

【0083】

図 12 のビーム形成部において、図 11 に示したビーム形成部に追加した構成部は、並列ロード 160 段シフトレジスタ 81, 84、並列ロード 101 段シフトレジスタ 82, 85 である。図 12 の 160 段シフトレジスタ 80, 83 は、図 11 の、60 段シフトレジスタ 51, 61 と 107 段シフトレジスタ 52, 62 をそれぞれ連結したものと等価である。

【0084】

受信回路から入力される 0° サンプリングデータ、 90° サンプリングデータは、それぞれ 160 段シフトレジスタ 80、160 段シフトレジスタ 83 に入力され、 R_{N0} 、 I_{N0} が 160 段の一番奥に転送され、 $R_{N0} \sim R_{N159}$ 、 $I_{N0} \sim I_{N159}$ の 160 個のデータが揃った時点（4 波長ごとに発生）で、このデータ列が並列ロード 160 段シフトレジスタ 81 および並列ロード 160 段シフトレジスタ 84 に並列ロードされる。

【0085】

並列ロード 101 段シフトレジスタ 82、並列ロード 101 段シフトレジスタ 85 は、それぞれ並列ロード 160 段シフトレジスタ 81、並列ロード 160 段シフトレジスタ 84 に接続されている。160 段シフトレジスタ 80, 83 から並列ロード 160 段シフトレジスタ 81, 84 にデータがロードされるタイミングと同じタイミングに、並列ロード 160 段シフトレジスタ 81, 84 から並列ロード 101 段シフトレジスタ 82, 85 に（1 スキャン周期前の）データがロードされる。なお、この構成では、 0° サンプリングデータ、 90° サンプリン

グデータが入力されはじめたのち、これが2周するまで（8波長分）ビーム形成できないが、極近距離であるため全く問題ない。

【0086】

並列ロード後、ビーム形成および並列ロードシフトレジスタのシフトを101回ずつ行う。この処理は次の並列ロードのタイミングまでに終わっていればよい。このようにして、無駄なビーム形成演算をなくすことで、1つの乗算器で時分割できる乗算の数を増やすことができ、全体規模の縮小ができる。

【0087】

図11、図12のビーム形成部ともに各マッチドフィルタの係数Cを固定としたが、受波ビームの形成中に係数Cを連続に変更し、ビームのフォーカスを変更できるようにしてもよい（ダイナミックフォーカス）。ダイナミックフォーカスにすれば、特に近距離のビーム形成の性能を改善することができる。

【0088】

図13～図16は、上記ビーム形成部の他の実施形態およびその動作を示す図である。この実施形態のビーム形成部は、図12のビーム形成部のシフトレジスタの多くをRAMに置き換えたものである。図13はその構成図である。

この実施形態では、1つの処理回路が並列処理できるデータ数が16であることから、ビームを形成する60個のサンプリングデータを14、16、16、14に4分割して処理する。このうち中央の16サンプリングデータ+16サンプリングデータは早くビームが到達するため古いスキャン周期のデータを用い、左右周辺の14サンプリングデータ+14サンプリングデータは遅くビームが到達するため新しいスキャン周期のデータを用いる。

【0089】

中央の16+16サンプリングデータ用に16段シフトレジスタ91、92および並列ロード16段シフトレジスタ95、96が設けられ、これらに対応するフィルタ係数を記憶した係数レジスタ105、106、マッチドフィルタの演算を実行する演算部101、102が設けられている。また、周辺の14+14サンプリングデータ用に14段シフトレジスタ90、93および並列ロード14段シフトレジスタ94、97が設けられ、これらに対応するフィルタ係数を記憶し

た係数レジスタ104、107、マッチドフィルタの演算を実行する演算部100、103が設けられている。そして、演算部100～103の演算結果を加算する加算部108が設けられている。

【0090】

なお、この図では、各サンプリングデータについて1系統しか示していないが、各構成部は、サンプリングデータの実部、虚部に合わせてそれぞれ2系統あり、演算部100～103は、データの実部×係数の実部、データの実部×係数の虚部、データの虚部×係数の実部、データの虚部×係数の虚部の4回の演算をする。

【0091】

各シフトレジスタおよび並列ロードシフトレジスタには移相器21、RAM-1、RAM-2からサンプリングデータが供給される。なお、RAM-0は、移相器21から入力される最新のサンプリングデータをバッファするRAMであり、エレメント14～エレメント159の146個のデータを記憶する領域を有するものである。なお、RAM-1、RAM-2も同様にエレメント14～エレメント159の146個のデータを記憶する領域を有している。エレメント0～エレメント13のデータはシフトレジスタに直接ロードされるため、RAMは不要である。詳細は後述する。

【0092】

図14、図15を参照して、このビーム形成部の動作を説明する。移相器21は、階段状のサンプリングデータを斜め連続サンプリングデータに移相する。1スキャン分のデータすなわちエレメント0のデータからエレメント159のデータは、ページデータとして順次RAM0および14段シフトレジスタ90および14段シフトレジスタ93に入力される。

【0093】

14段シフトレジスタ90には新しいスキャンのエレメント13～エレメント0のサンプリングデータが入力される。14段シフトレジスタ93には新しいスキャンのエレメント159～エレメント146のサンプリングデータが入力される。また、16段シフトレジスタ91には古いスキャンのエレメント14～エレ

メント 29 のサンプリングデータが入力される。16 段シフトレジスタ 92 には古いスキヤンのエレメント 30 ~ エレメント 45 のサンプリングデータが入力される。ここで、図 14、図 15 において、古いスキヤンのデータを $0-n$ ($n=0 \sim 159$) と記述し、新しいスキヤンのデータを $1-n$ ($n=0 \sim 159$) と記述する。

【0094】

上記のようにデータが入力されると(図 14 (A))、各シフトレジスタ 90 ~ 93 から並列ロードシフトレジスタ 94 ~ 97 にデータがロードされる(図 14 (B))。並列ロードシフトレジスタ 94 ~ 97 にデータがロードされると、このデータは演算部 100 ~ 103 に供給されるため、このデータに基づいてビームが形成される。同図 (B) の場合にはエレメント 0 ~ エレメント 59 を用いたビーム番号 0 のビーム(ビーム 0) が形成される。このとき、バッファであった RAM-0 のデータは新しいスキヤンデータを格納する RAM-1 に転送され、それまで RAM-1 に格納されていたデータは古いスキヤンデータを格納する RAM-2 に転送される。

【0095】

こののちは、各並列ロードシフトレジスタ 94 ~ 97 のデータが 1 つずつシフトされてゆき、ビーム番号 1 (ビーム 1) ~ ビーム番号 100 (ビーム 100) のビームが形成される。図 15 (A) は、図 14 (B) の状態から 1 つだけサンプリングデータがシフトされた状態を示している。このデータのセットでビーム 1 が形成される。

【0096】

そして、順次データがシフトされてゆき、図 15 (B) のように並列ロードシフトレジスタ 97 に $1-159 \sim 1-146$ のサンプリングデータがセットされ、並列ロードシフトレジスタ 96 に $0-145 \sim 0-130$ のサンプリングデータがセットされ、並列ロードシフトレジスタ 95 に $0-129 \sim 0-114$ のサンプリングデータがセットされ、並列ロードシフトレジスタ 94 に $1-113 \sim 1-100$ のサンプリングデータがセットされると、これらのデータがビーム 100 が形成される。

【0097】

これ以上データをシフトしても不連続なデータセットとなり、ビーム形成ができないが、このとき、RAM-0、14段シフトレジスタ90、93には、次の新たなスキヤンのデータ $2-n$ ($n=0\sim159$)が入力されており、16段シフトレジスタ91、92には、RAM-1から1-45~1-30、1-29~1-14のデータが入力されている。すなわち、これらのデータは次のスキヤンのビーム0のデータセットである。

【0098】

これを図14 (A) → (B) の手順で並列ロードすることにより、次のスキヤンのビーム0を形成することができ、図14 (A) → (B) → 図15 (A) → (B) → 図14 (A) の手順を繰り返してゆくことで、不連続なデータセットをスキップしてビーム形成に有効なデータセットのみを並列ロードシフトレジスタ94~97にセットすることができる。

【0099】

なお、距離に応じてビームの焦点を鋭く結ばせるダイナミックフォーカスを行うため、係数レジスタ104~107にセットされる係数は、ビーム形成を開始してからの時間すなわちビームの距離に応じて一斉に書き換えられる。

【0100】

また、上記説明では、理解が容易なようにRAM-0 → RAM-1 → RAM-2とデータを転送するとしているが、実際には、書込アドレス、読出アドレスを変更することで対応し、データの転送は行わない。

【0101】

上記実施形態では、図8に示すように一部が切りかかれた円筒形アレイについて説明しているが、全周にエレメントを備えた完全に円筒形のトランスデューサにこの発明を適用することもできる。

【0102】

図17は、リニアアレイの受信データから受波ビームを形成するマッチドフィルタを備えたビーム形成部の例を示す図である。このビーム形成部は、図3で説明した原理を具体化したものである。このマッチドフィルタを、図6の海底探査

ソナーにおいて受信用のトランスデューサとして直線状の超音波振動子アレイを用いた場合、同図のビーム形成部 22 としてこのビーム形成部を用いればよい。

【0103】

なお、図 3 に示すようにこのビーム形成部では階段状のサンプリングデータをそのまま用いるため、図 6 の移相器 21 は不要である。ただし、サンプリングデータを斜め等間隔サンプリングに移相して入力するなどの場合には移相器を用いればよい。

【0104】

図 17 において、バッファ RAM 90 は、複数のスキャン周期に跨がるサンプリングデータ列①～サンプリングデータ列⑤を作るために必要で、例えばデュアルポート RAM で構成される。図 3 ようにサンプリングデータ列を作成する場合、スキャン周期 $N+8$ のサンプリングデータをバッファ RAM に書き込み、スキャン周期 $N-7$ ～スキャン周期 $N+7$ のデータを読み出してサンプリングデータ列①～サンプリングデータ列⑤のデータを作るように動作する。したがって、バッファ RAM 90 の容量は、16 スキャン周期以上のサンプリングデータ（スキャン周期 $N-7$ ～スキャン周期 $N+7$ で 15 スキャン周期分、スキャン周期 $N+8$ で 1 スキャン周期分）を記憶する容量が必要である。

【0105】

書込／読出回路 91 は、バッファ RAM 90 のデータの書き込み、読み出し、マッチドフィルタ部 92 ～96 へのデータ転送を制御する。マッチドフィルタ部 92 ～96 は、それぞれサンプリングデータ列①～サンプリングデータ列⑤に対応しており、対応する範囲のビーム方向（ビーム番号）のビームを形成する。なお、入力されるサンプリングデータおよびマッチドフィルタの係数はそれぞれ複素数であり、図 17 のサンプリングデータ部と係数部の破線は、それぞれのデータが複素データであることを示している。また、サンプリングデータ部は処理の高速化のためダブルバッファ方式をとることが多いが、図 17 では説明を簡略化するためこれを省略している。

【0106】

ここで、ビーム 0 ～ビーム 9 のビームを形成するサンプリングデータ列①のマ

マッチドフィルタ部 92 について説明する。係数メモリ 100 には、ビーム 0 ～ ビーム 9 のビームを形成するための、マッチデータ（フィルタ係数）が蓄えられている。係数選択回路 101 は、外部から入力されるビーム番号に応じ、このビーム番号に対応するフィルタ係数を係数メモリ 100 から読み出して乗算器群 102 に供給する。サンプリングデータレジスタ 103 は、書込／読出回路 91 から入力されたエレメント 0 ～ エレメント 79 の所定のスキャン周期のサンプリングデータを記憶する。このサンプリングデータは、図 3 に示すサンプリングデータ列①のサンプリングデータである。サンプリングデータレジスタ 103 はこのデータを乗算器群 102 に供給する。乗算器群 102 は、供給されたサンプリングデータとフィルタ係数とを乗算して加算器 104 に入力する。加算器 104 は、各乗算器の乗算結果を加算して実数部、虚数部毎の加算値を算出する。振幅検出回路 105 は、この加算値を用い、 $(I^2 + Q^2)^{1/2}$ の演算を実行して振幅を算出する。そしてこの振幅値を遅延回路 106 で 2 波長遅延して指定されたビーム番号のビーム方向の受信振幅出力として出力する。

【0107】

上記と同様の処理を、分割されたビーム番号毎にサンプリングデータ列②～⑤について行えば、ビーム 0 ～ ビーム 79 の振幅出力が得られる。また、このビーム形成部においても、マッチデータをビーム形成中に連続に変更できるようにしておけばダイナミックフォーカスが可能となる。

【0108】

なお、マッチドフィルタ部 92, 94, 96 に 2 波長の遅延回路が必要な理由は、図 3 の例ではサンプリングデータ列①、サンプリングデータ列③、サンプリングデータ列⑤の方が、サンプリングデータ列②、サンプリングデータ列④よりも 2 波長分進むため、サンプリングデータ列①、サンプリングデータ列③、サンプリングデータ列⑤を 2 波長遅らせるためである。これは図 3 に示すように、サンプリングデータ列の階段数が偶数（8 段）であるため、サンプリングデータ列の中心が階段の段と段の間になり、階段の傾斜によってサンプリングデータ列の中心が 2 波長分ずれることがあるためである。

【0109】

書込／読出回路 91 でサンプリングデータ列②、サンプリングデータ列④に入力するデータを 1 スキャン周期（4 波長）進ませることができ、この場合はサンプリングデータ列②、サンプリングデータ列④の方に 2 波長遅延を入れる。なお、斜め階段状のサンプリングデータ列の段数を奇数とした場合には、全てのサンプリングデータ列の中心を同じスキャン周期に揃えることができるため、2 波長遅延は不要になる。

【0110】

図 18 は、リニアアレイの受信データを遅延・移相処理によってサンプル面を変更したのち DFT により受波ビームを形成する演算処理部のブロック図である。この演算処理部は、図 5 で説明した原理を具体化したものであり、図 6 の海底探査ソナーにおいて受信用のトランスデューサとして直線状の超音波振動子アレイを用い、マッチドフィルタを用いずにビームを形成する場合には、同図の演算処理部 3 としてこの演算処理部を用いればよい。この場合、後述の 0° サンプルデータ生成回路 113、 $+45^\circ$ サンプルデータ生成回路 114、 -45° サンプルデータ生成回路 115 が移相器 21 に対応し、DFT 回路 119、120、121 がビーム形成部 22 に対応する。

【0111】

同図において、バッファ RAM 111、112 は、送受信部 2 から入力される 0° サンプルデータと 90° サンプルデータをバッファリングする。このサンプリングデータは、図 2 に示した階段状の斜めサンプリングデータ、図 8 に示した全エレメントの同時サンプリングデータ、連続斜めサンプリングデータなどどのような時系列データでもよい。バッファ RAM は、通常の SRAM、デュアルポート SRAM など構成される。バッファ RAM 111、112 は、図 5 に示すように、リニアアレイに対して 0° 、 $+45^\circ$ 、 -45° の傾斜のサンプリング面を形成するため $N-5 \sim N+5$ の 11 のスキャン周期分の記憶エリアを備える。すなわち、 $+45^\circ$ または -45° の傾斜のサンプリング面を形成するために $N-5 \sim N+4$ の 10 のサンプリングデータ列を使用し、 $N+5$ のエリアには入力されたサンプリングデータが書き込まれる。

【0112】

0° サンプリング面生成回路 113 は、バッファ RAM 111、112 に記憶されているスキャン周期 N のサンプリングデータ列を読み込み、これが階段状管めサンプリングデータや連続斜めサンプリングデータである場合には、各サンプリングデータを移相して同時サンプリングのサンプリングデータ列に変換してバッファ RAM 117 に書き込む。また、バッファ RAM 111、112 に記憶されているサンプリングデータ列が同時サンプリングデータの場合には、これをそのまま出力してバッファ RAM 117 に書き込む。

【0113】

-45° サンプリング面生成回路 115 は、バッファ RAM 111、112 に記憶されているスキャン周期 $N-5 \sim N+4$ のサンプリングデータ列を読み込む。このとき、各スキャン周期のうち図 5 の太線に示すサンプリングデータ列のみを読み込めばよい。そして、各スキャン周期のサンプリングデータ列毎に斜めに移相し、全てを連続して図 5 に示すような -45° のサンプリング面の連続サンプリングデータを生成する。すなわち、あたかもリニアアレイが -45° の方向に向いているかのようなサンプリングデータ列を生成する。そしてこのサンプリングデータ列をバッファ RAM 118 に書き込む。なお、バッファ RAM 111、112 から入力したサンプリングデータ列が階段状の斜めサンプリングデータ、同時サンプリングデータ、連続斜めサンプリングデータのいずれであってもそのサンプリングタイミングを補正する遅延・移相の係数を用いればよい。

【0114】

+45° サンプリング面生成回路 114 は、バッファ RAM 111、112 に記憶されているスキャン周期 $N-5 \sim N+4$ のサンプリングデータ列を上記 -45° サンプリング面生成回路 115 とは逆方向に読み込み、図 5 に示すような +45° のサンプリング面の連続サンプリングデータを生成する。そしてこのサンプリングデータ列をバッファ RAM 117 に書き込む。

【0115】

なお、上記の例では、たとえばスキャン周期 N からスキャン周期 $N+1$ までの間は、スキャン周期 N のサンプリングデータを用いるようにしているが、中間よりもスキャン周期 N のタイミングによっているところはスキャン周期 N のデータ

を用い、スキャン周期 $N+1$ のタイミングによっているところはスキャン周期 $N+1$ のデータを用いるようにしてもよい。また、スキャン周期 N からスキャン周期 $N+1$ までの間はスキャン周期 N のサンプリングデータとスキャン周期 $N+1$ のサンプリングとで補間するようにしてもよい。

【0116】

DFT回路119は、 0° サンプリング面のサンプリングデータ列をDFTし、 0° 近辺（正面方向）のビーム形成を実行する。DFT回路120は、 $+45^\circ$ サンプリング面のサンプリングデータ列をDFTし、 $+45^\circ$ 近辺（斜め左方向）のビーム形成を実行する。DFT回路121は、 -45° サンプリング面のサンプリングデータ列をDFTし、 -45° 近辺（斜め右方向）のビーム形成を実行する。これらDFT回路119、120、121が形成する受波ビームを組み合わせることによって全方向について受波ビームをスキャンすることができる。

【0117】

なお、DFT回路119、120、121は分担を明確にするために分けたもので、高速DSPなどを用いて処理能力が十分であれば、分離せずに1つの処理回路で行うようにしてもよい。

【0118】

また、簡略化するためサンプリングデータ列の形成角度を 0° 、 $+45^\circ$ 、 -45° としたが、生成する時系列データ数とその角度はビーム幅の範囲、最小受信パルス幅に応じて最適化すればよい。

【0119】

【発明の効果】

この発明によれば、受信信号が短いパルス信号であっても全超音波振動子にわたって受波ビームの形成をすることができるため、ビームの指向性や感度を改善でき、ソナー装置に適用した場合には距離分解能を改善することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

円筒形アレイの受信信号に本願発明を適用した場合の例を示す図である。

【図 2】

リニアアレイの受信信号に本願発明を適用した場合の例を示す図である。

【図 3】

リニアアレイの受信信号に本願発明を適用した場合の例を示す図である。

【図 4】

リニアアレイの受信信号に本願発明を適用し、補間データを生成した場合の例を示す図である。

【図 5】

リニアアレイの受信信号に本願発明を適用した場合の例を示す図である。

【図 6】

この発明の実施形態である海底探査ソナーのブロック図である。

【図 7】

同海底探査ソナーのトランスデューサの取り付け形態および送波ビーム、受波ビームを示す図である。

【図 8】

同海底探査ソナーの受信トランスデューサの構成を示す図である。

【図 9】

同海底探査ソナーの A D 変換器のサンプリングタイミングチャートを示す図である。

【図 1 0】

同海底探査ソナーの演算処理部の移相方式を説明する図である。

【図 1 1】

同演算処理部のビーム形成部の構成を示す図である。

【図 1 2】

ビーム形成部の他の構成例を示す図である。

【図 1 3】

ビーム形成部のシフトレジスタに代えて R A M を用いた例を示す図である。

【図 1 4】

同ビーム形成部の動作を説明する図である。

【図 1 5】

同ビーム形成部の動作を説明する図である。

【図 1 6】

前記演算処理部の移相器の構成を示す図である。

【図 1 7】

受信トランスデューサとしてリニアアレイを用いた場合のビーム形成部の構成例を示す図である。

【図 1 8】

受信トランスデューサとしてリニアアレイを用い、DFT演算によってビーム形成幅を広げたビーム形成部の例を示す図である。

【図 1 9】

円筒形アレイのビーム劣化の原因を説明する図である。

【図 2 0】

リニアアレイのビーム劣化の原因を説明する図である。

【符号の説明】

- 1 … トランスデューサ部
- 2 … 送受信部
- 3 … 演算処理部
- 1 1 … 送信トランスデューサ
- 1 2 … 受信トランスデューサ
- 1 3 … プリアンプ
- 1 4 … バンドパスフィルタ
- 1 5 … TVGアンプ
- 1 6 … バンドパスフィルタ
- 1 7 … マルチプレクサ
- 1 8 … TVGアンプ
- 1 9 … AD変換器
- 2 0 … 平均化処理部
- 2 1 … 移相器

22…ビーム形成部
 51、61…60段シフトレジスタ
 52、62…107段シフトレジスタ
 53、63…43段シフトレジスタ
 55、57、65、67…乗算器
 56、58、66、68…加算器
 71…減算器
 72…加算器
 73…振幅検出部
 74…取出回路
 80、83…160段シフトレジスタ
 81、84…並列ロード160段シフトレジスタ
 82、85…並列ロード101段シフトレジスタ
 90…バッファRAM
 91…書込／読出回路
 92～96…マッチドフィルタ部
 100…係数メモリ
 101…係数選択回路
 102…乗算器群
 103…サンプリングデータレジスタ
 104…(符号付) 加算器
 105…振幅検出回路
 106…(2波長) 遅延回路
 111、112…バッファRAM
 113…0° サンプリング面生成部
 114…+45° サンプリング面生成部
 115…-45° サンプリング面生成部
 116、117、118…バッファRAM
 119、120、121…信号処理部

1 3 0 ... F I F O メモリ

1 3 1 ... 乗算部

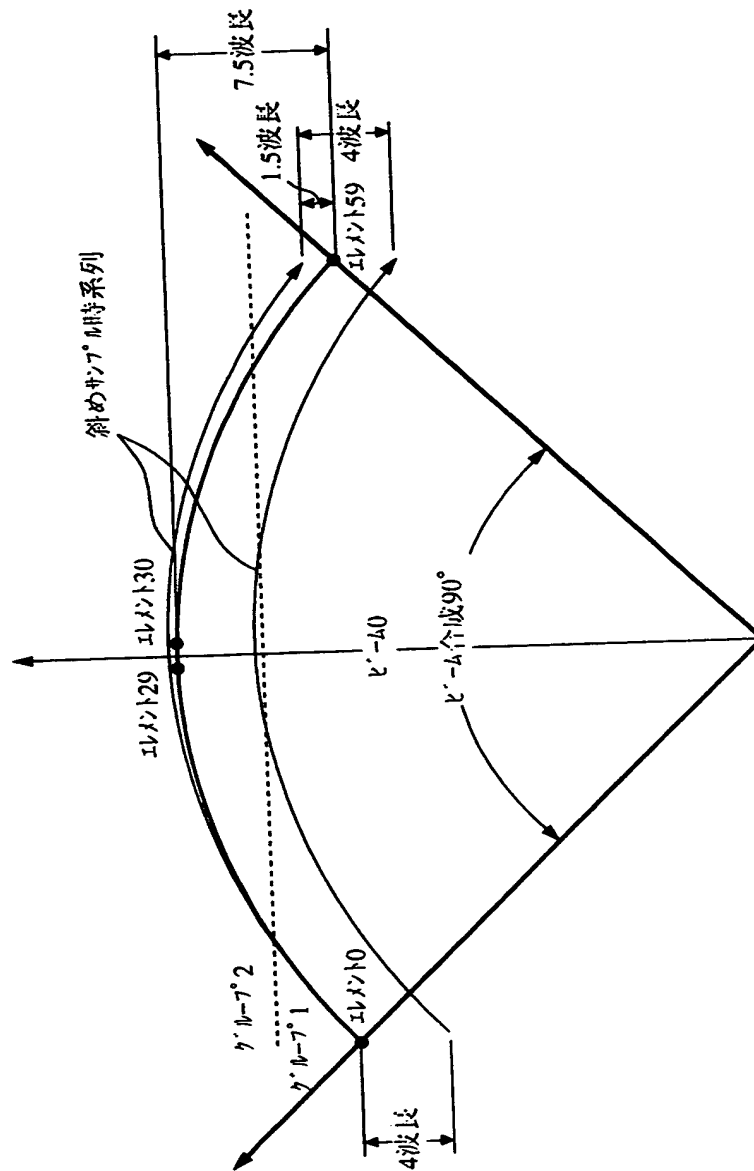
1 3 2 ... (移相係数) メモリ

1 3 3 ... 減算器

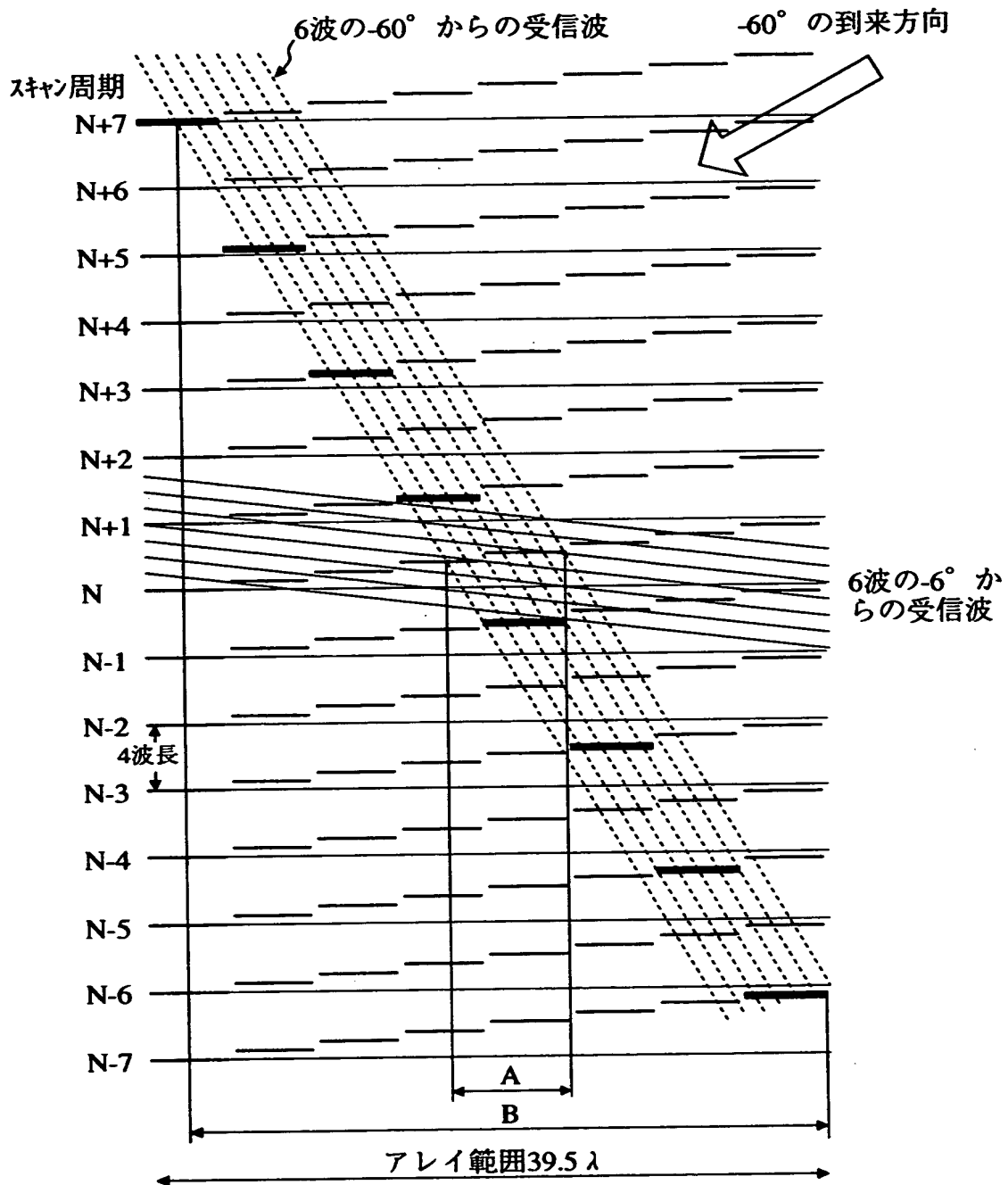
1 3 4 ... 加算器

【書類名】 図面

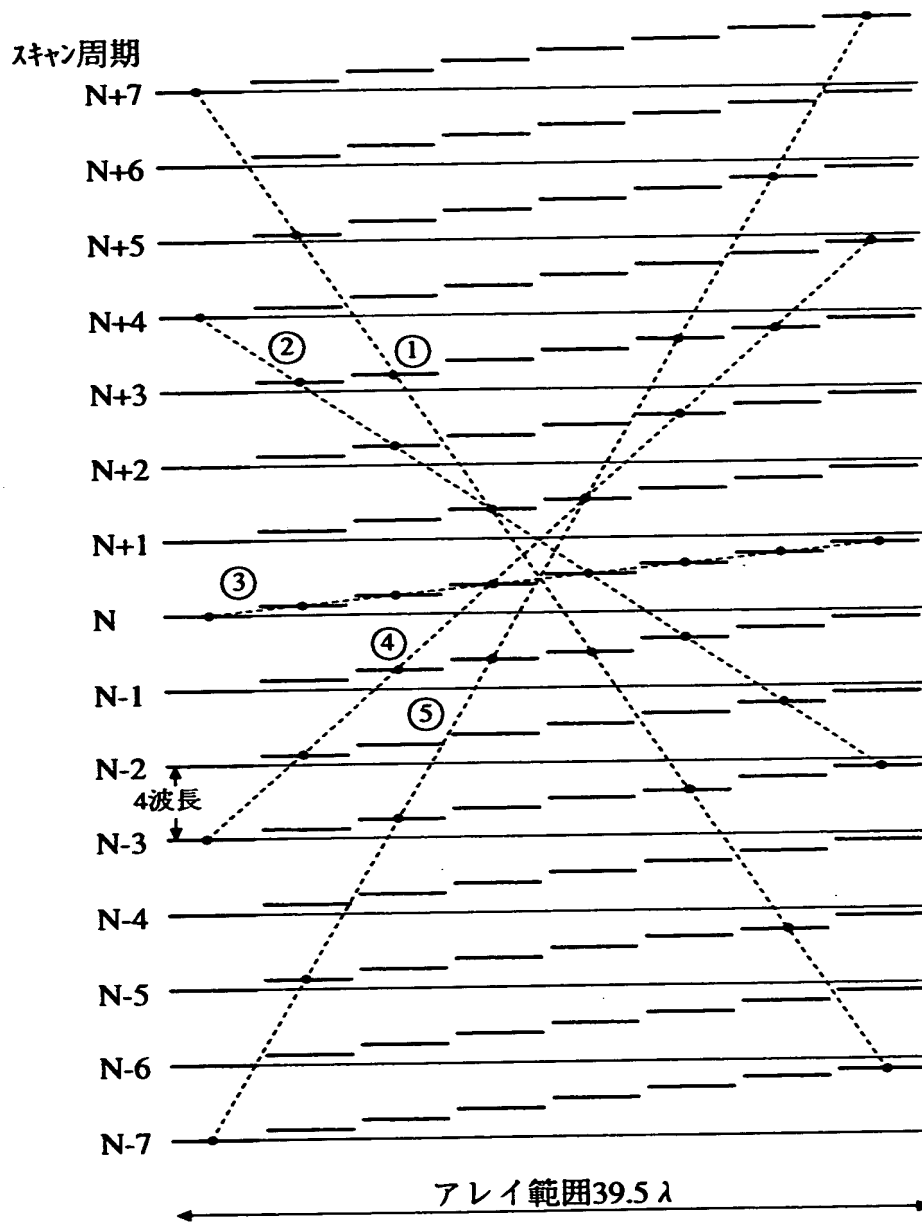
【図 1】



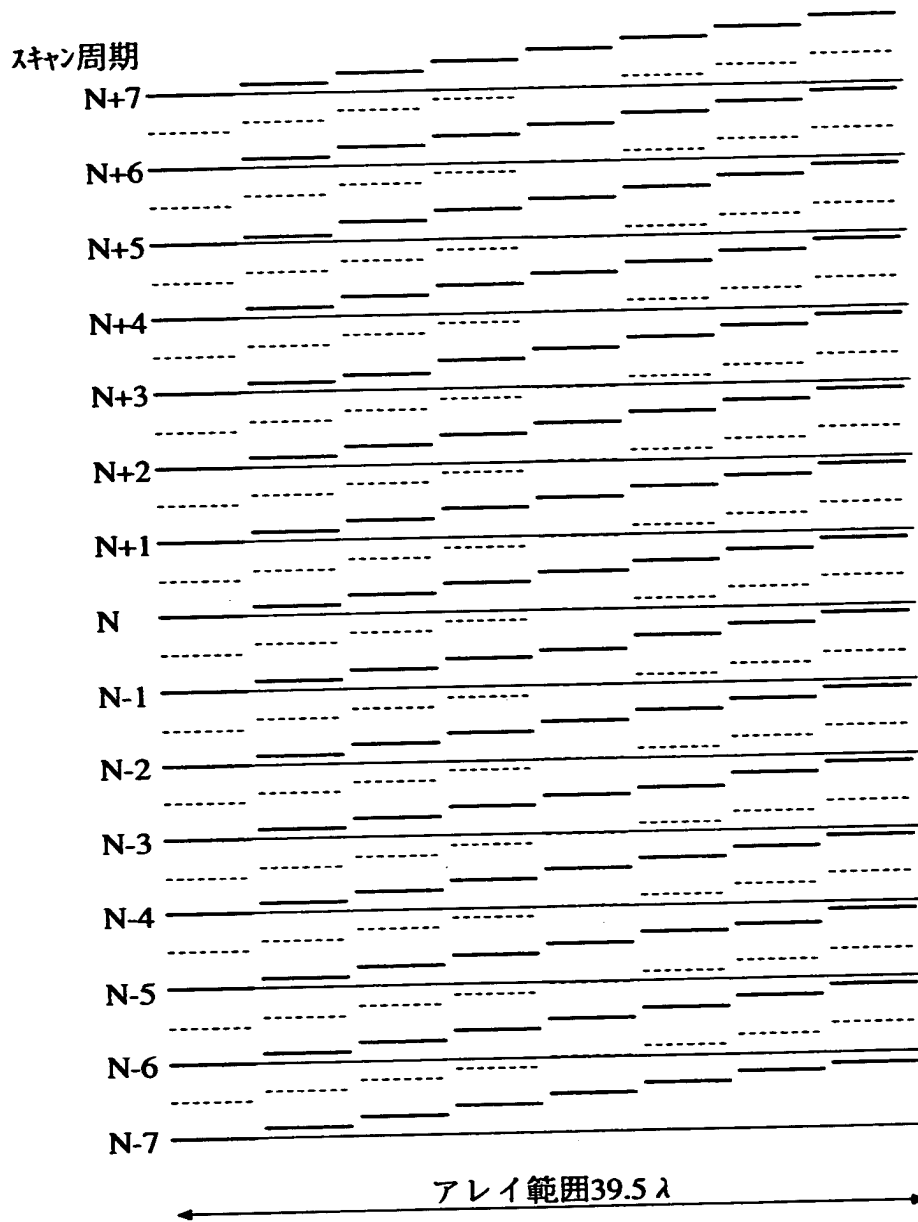
【図 2】



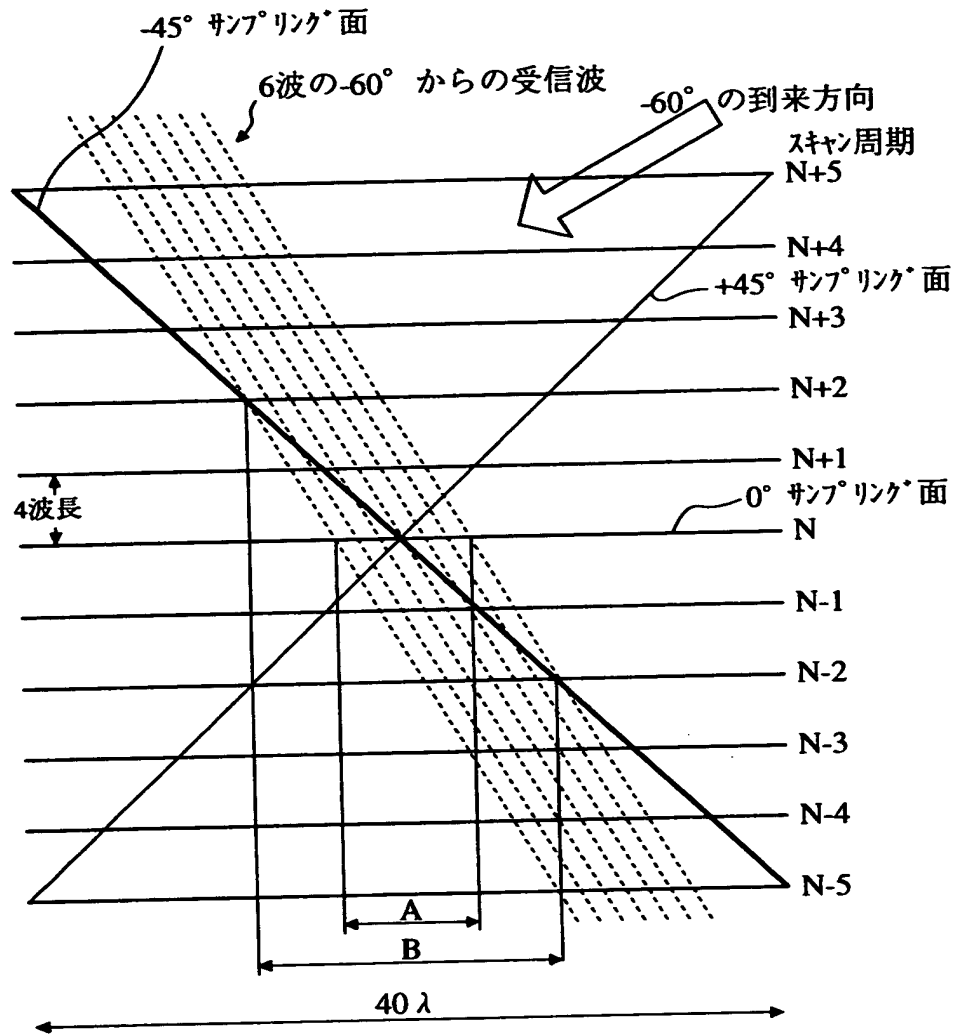
【図3】



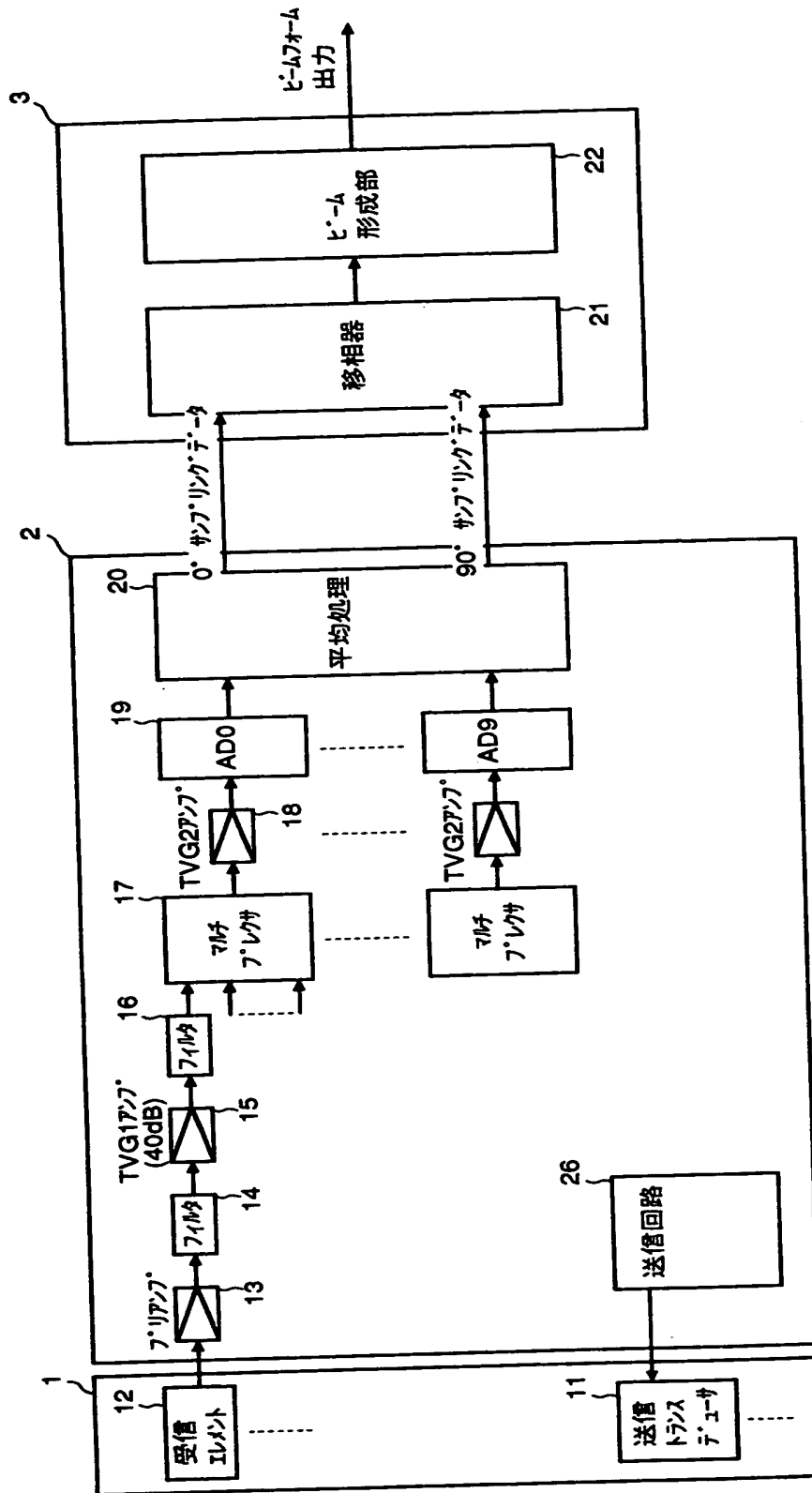
【図 4】



【図5】

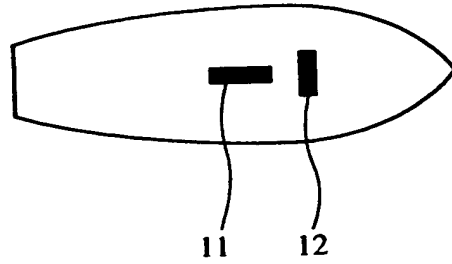


【図6】

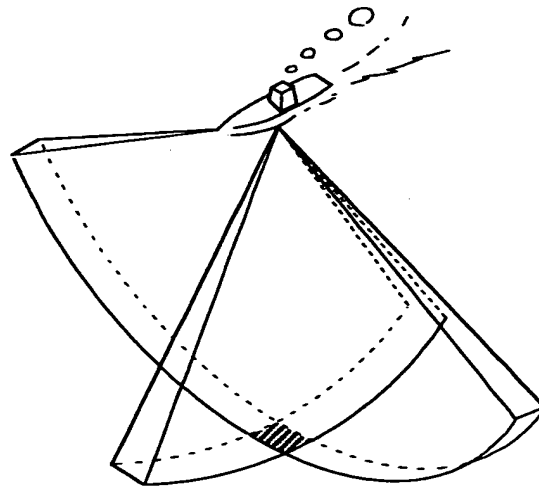


【図 7】

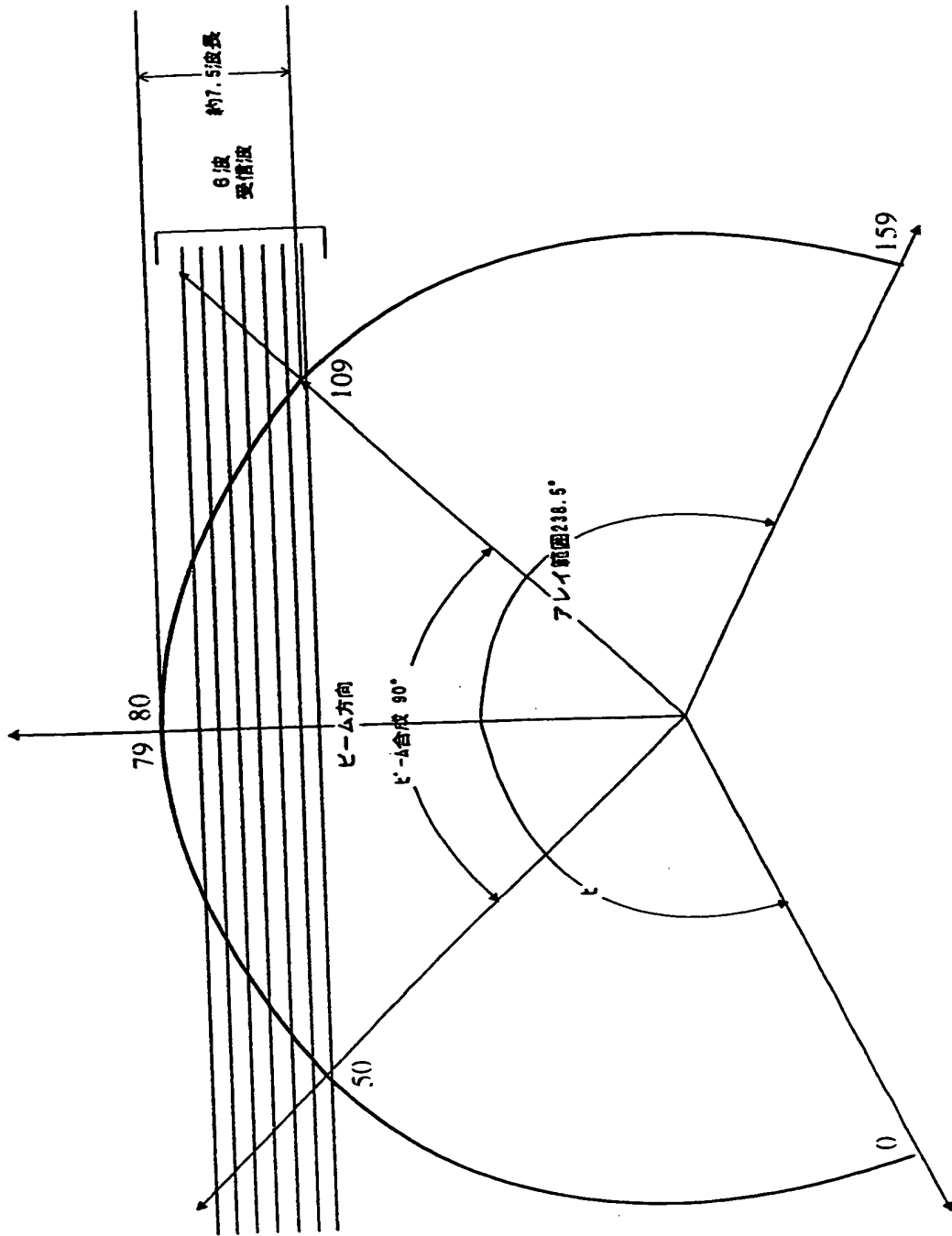
(A)



(B)

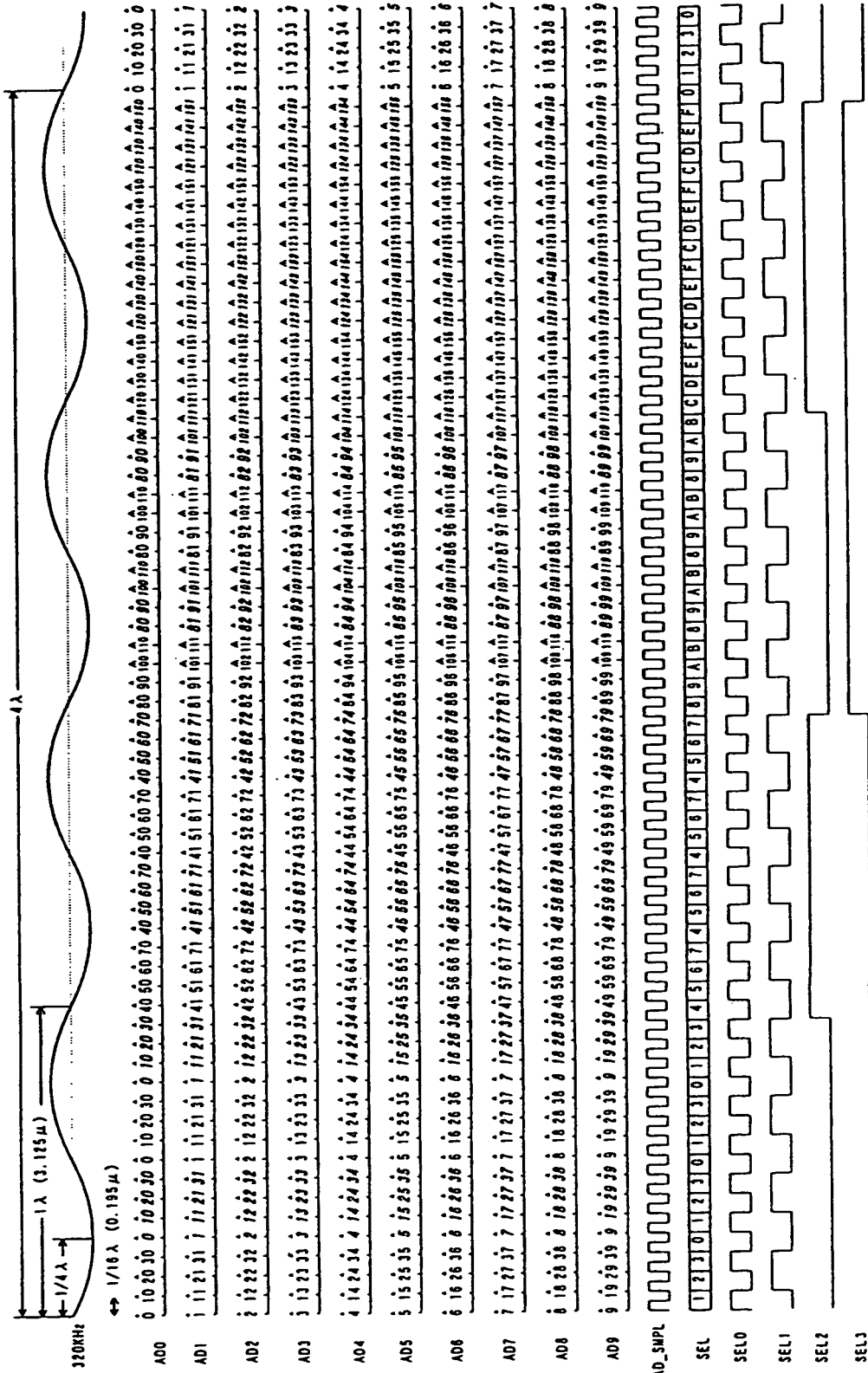


【図 8】

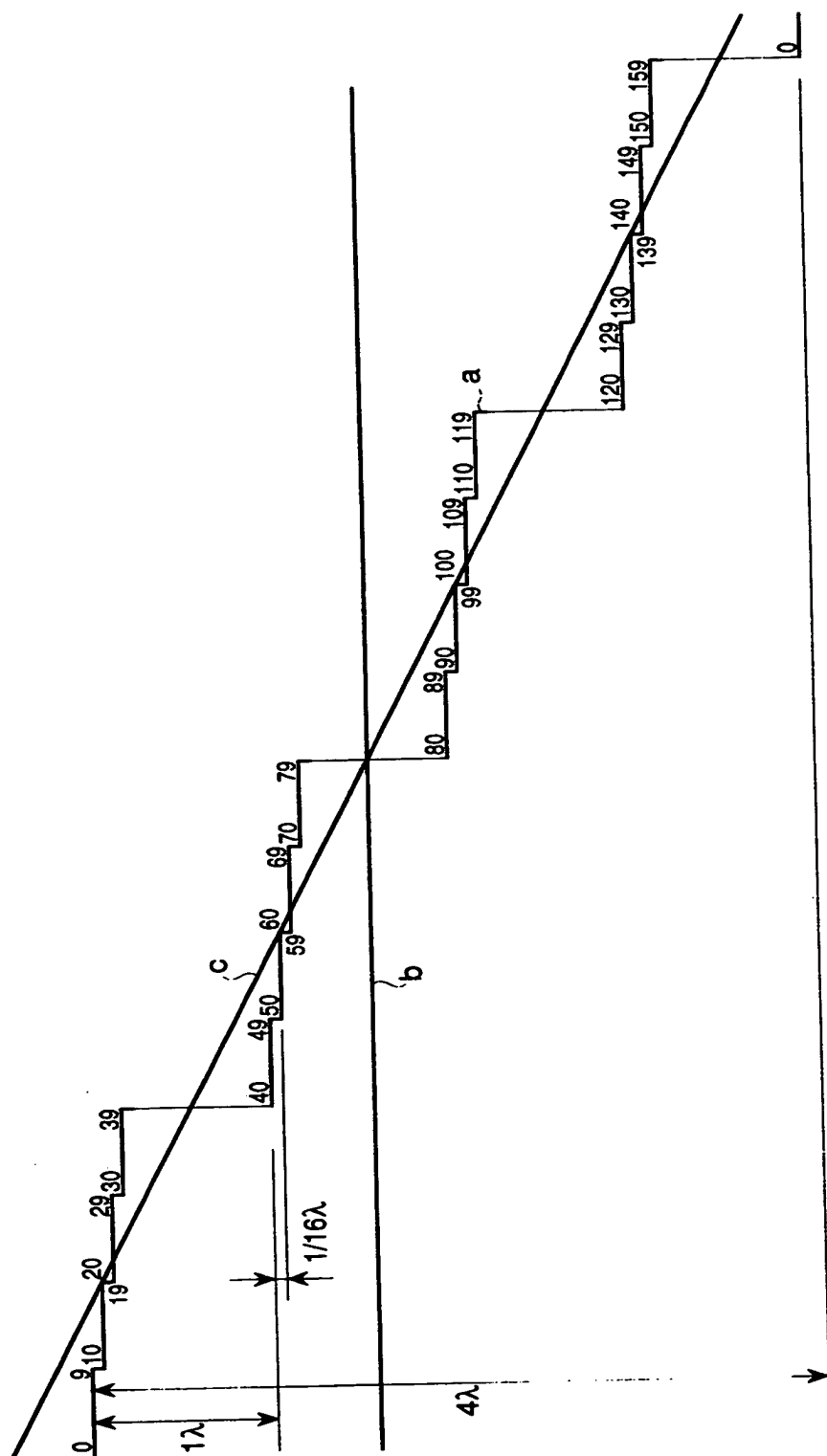


【図9】

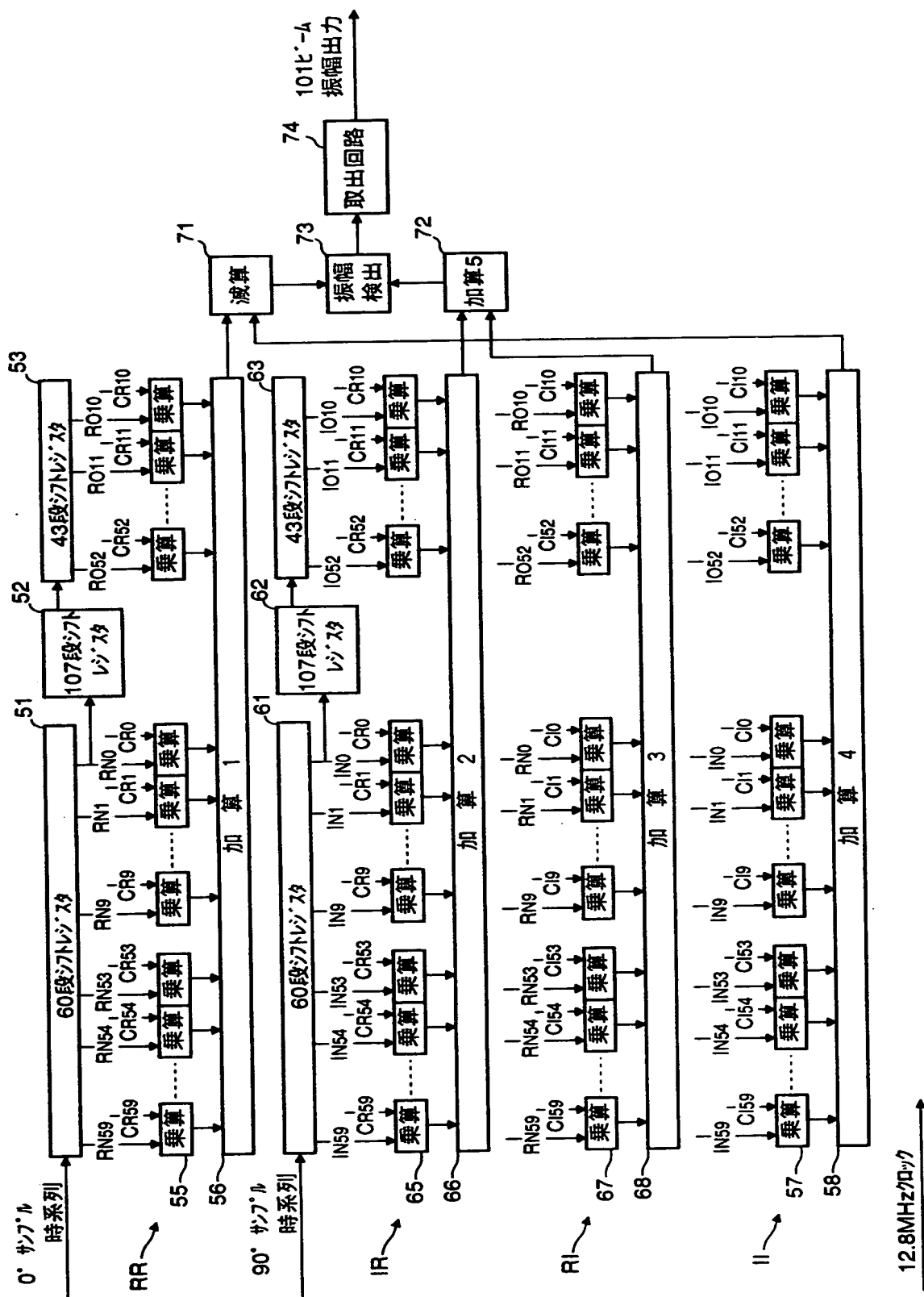
AD、マルチプレクサ タイミング (4λ サンプル 0°、90°、180°、270° サンプル)



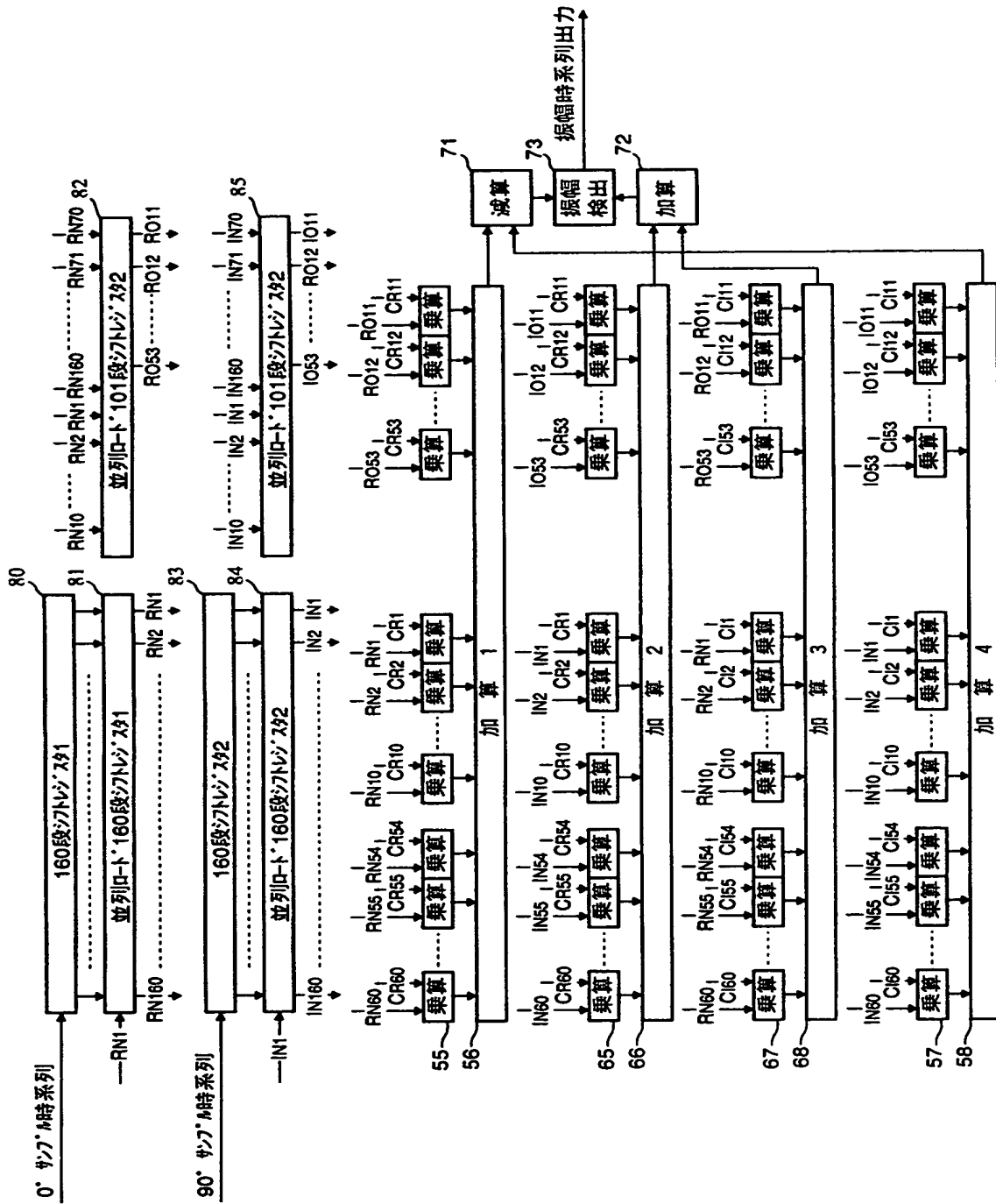
【図 10】



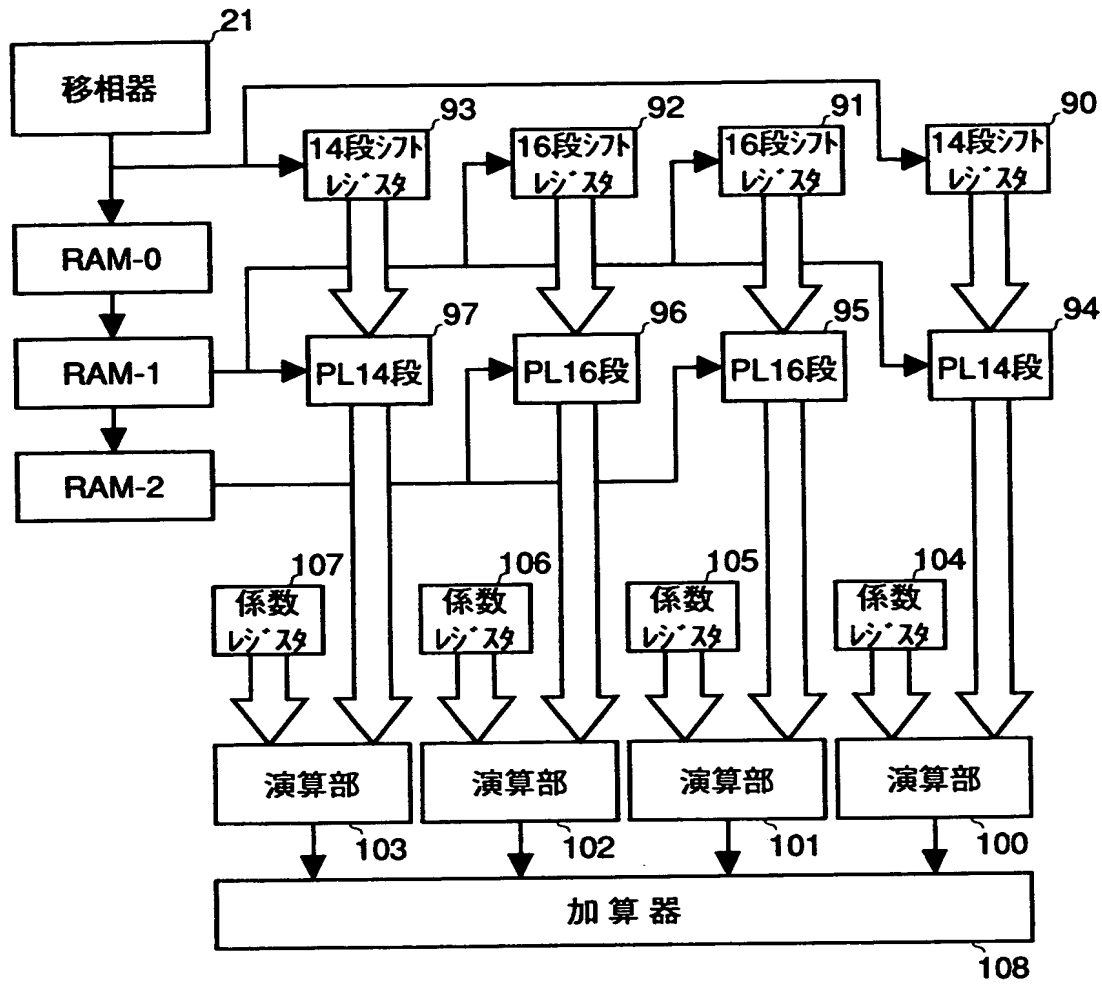
【图 1-1】



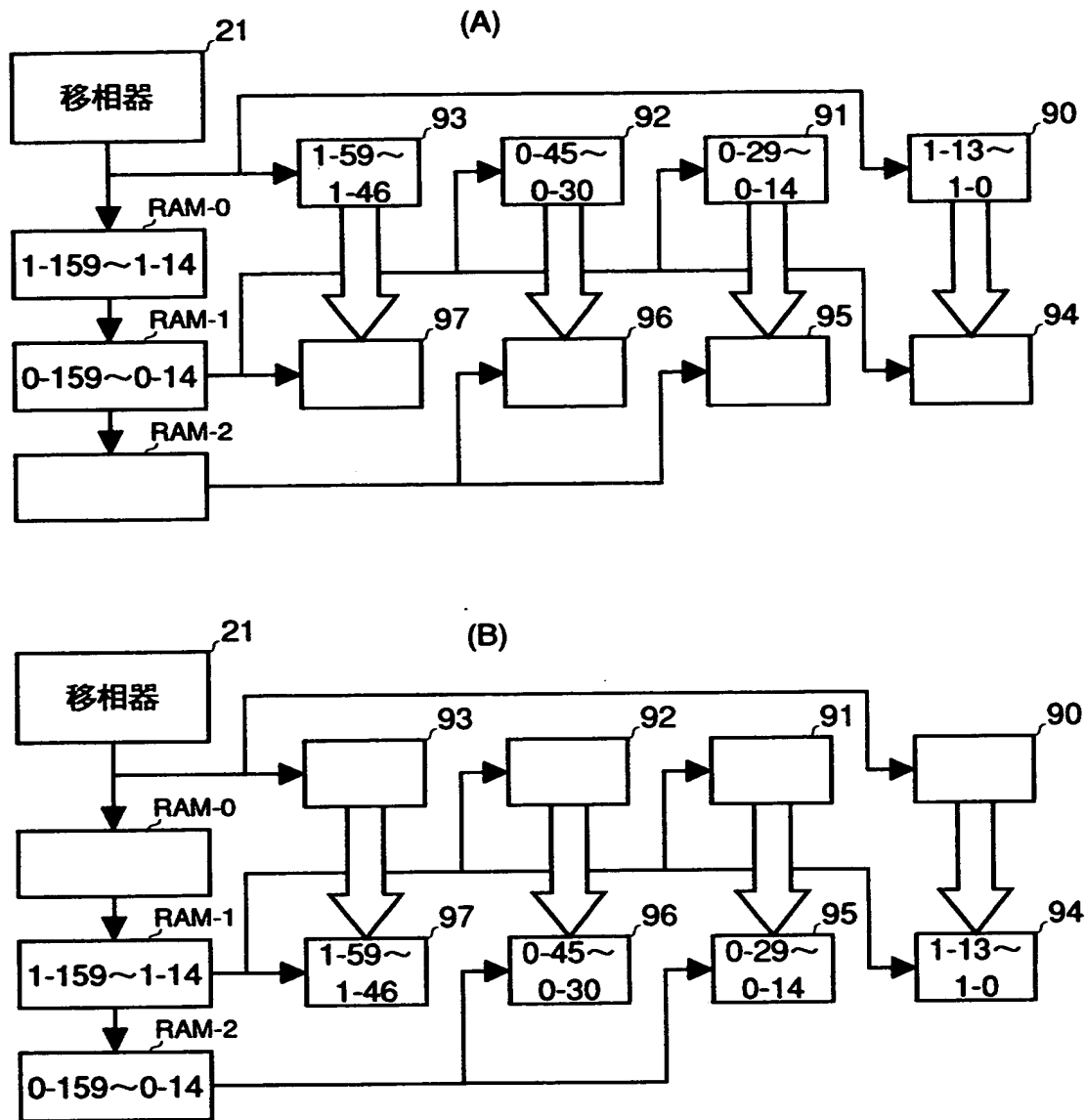
【図 1 2】



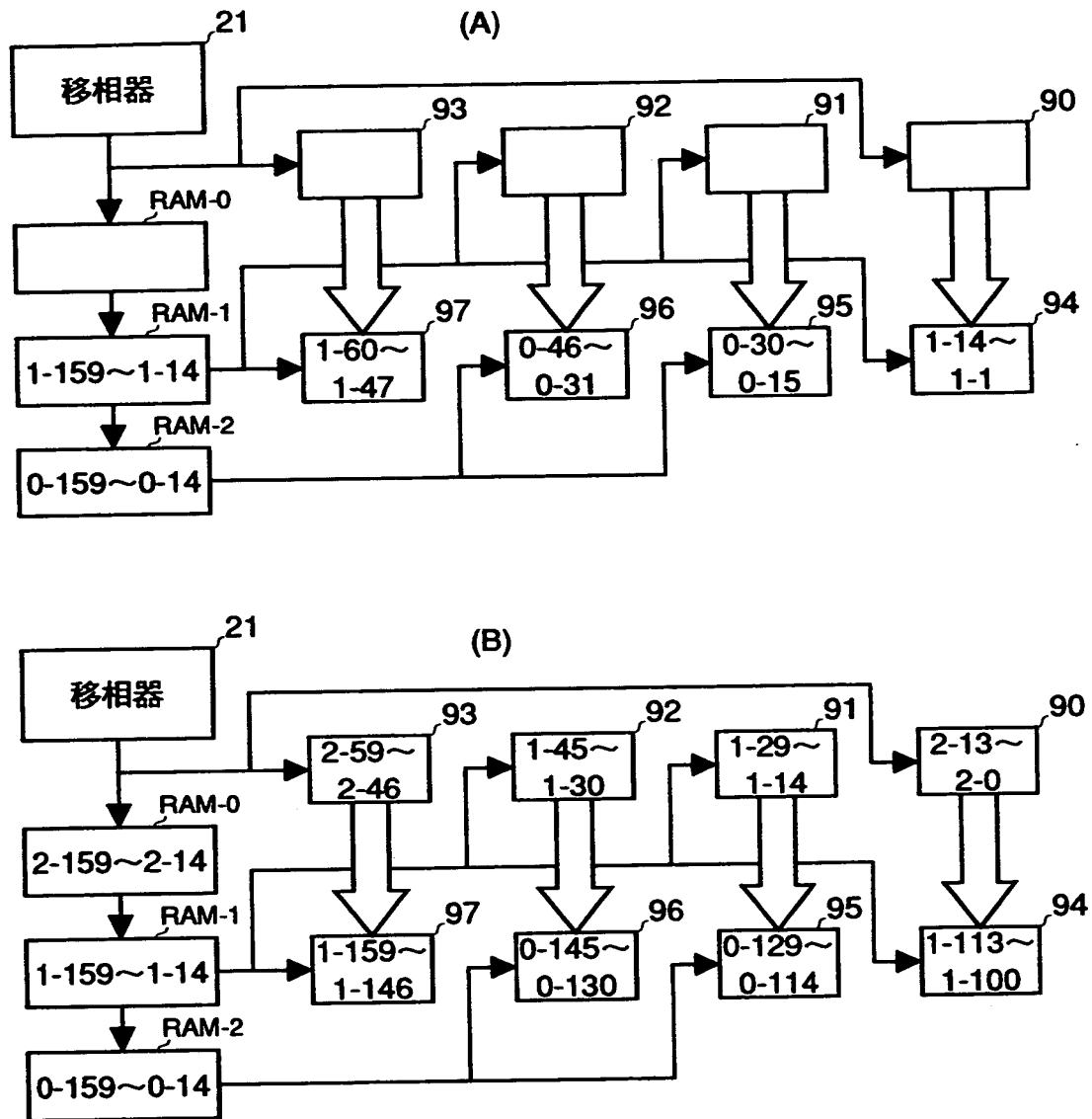
【図 1 3】



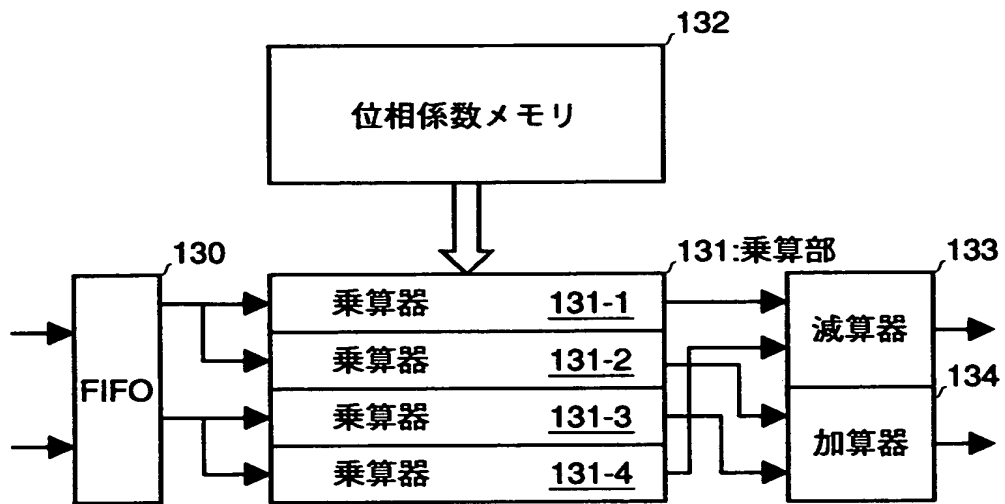
【図 1 4】



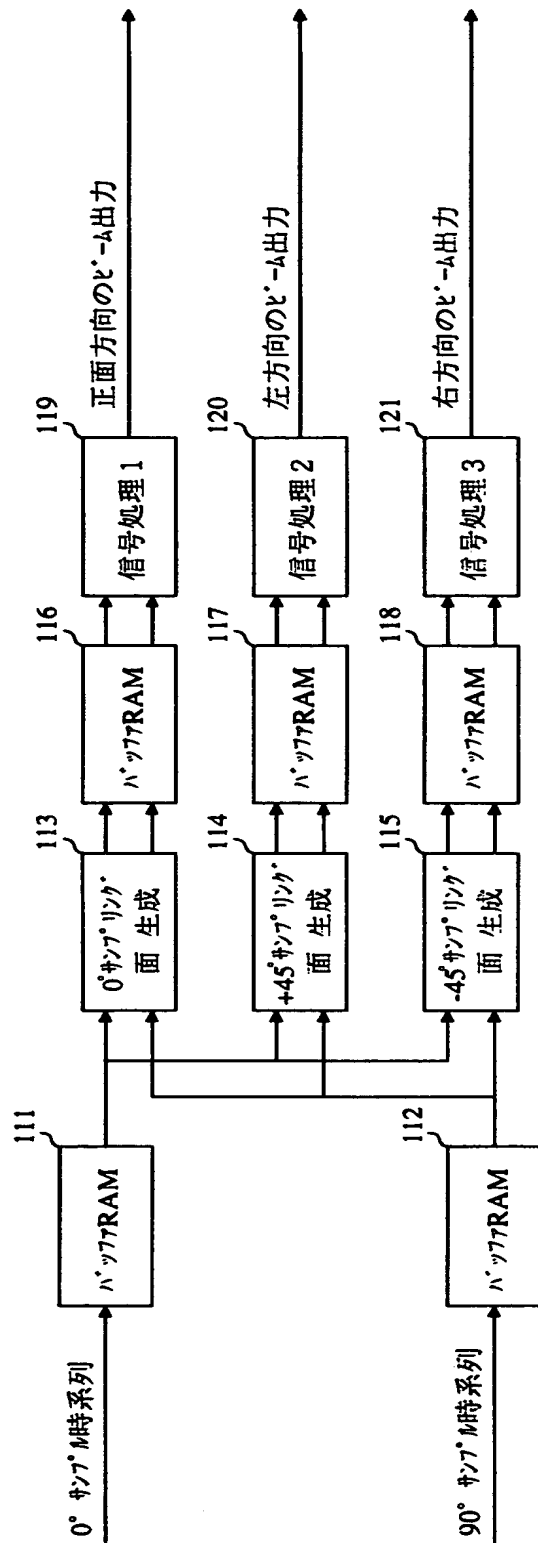
【図 1 5】



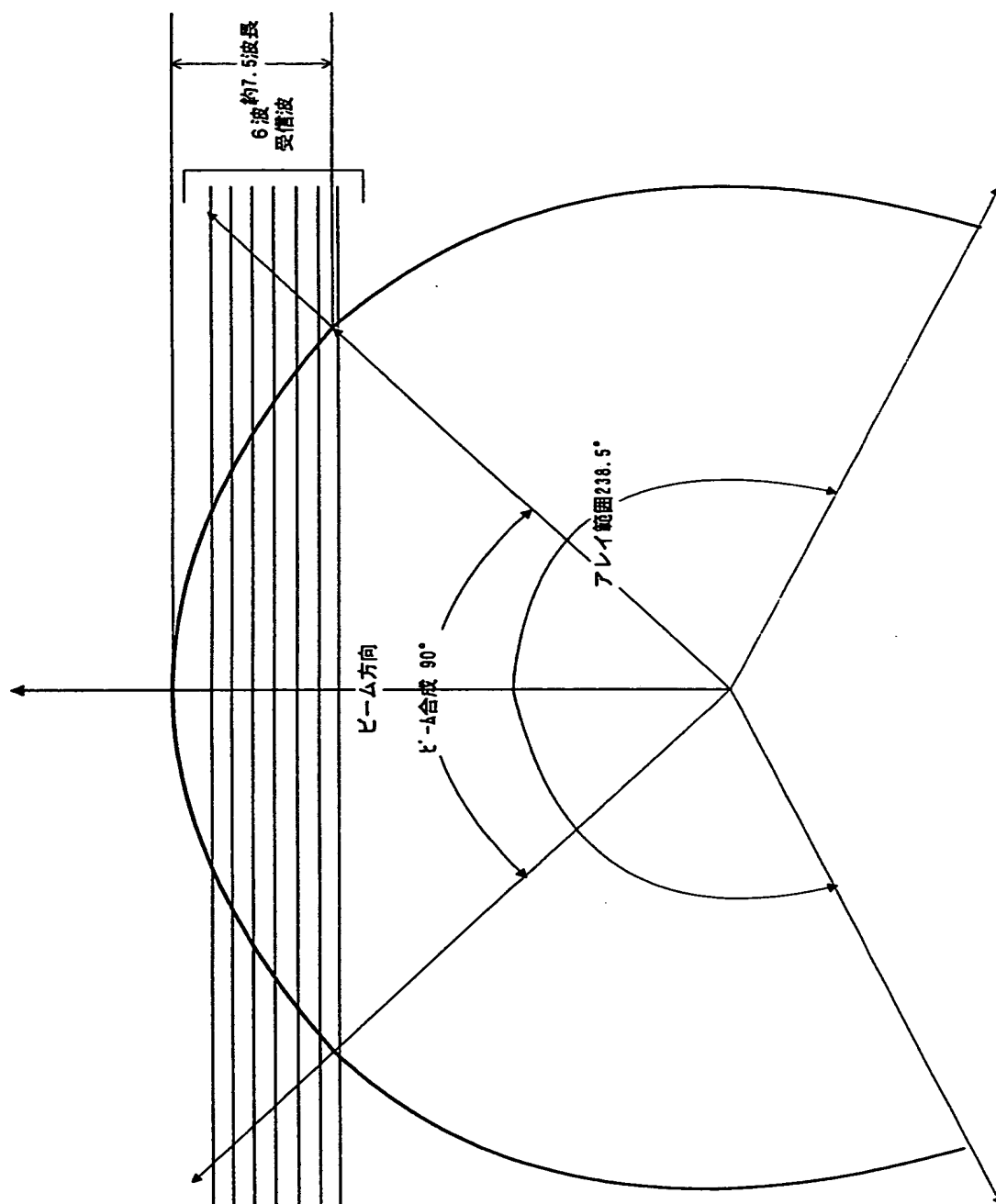
【図 1 6】



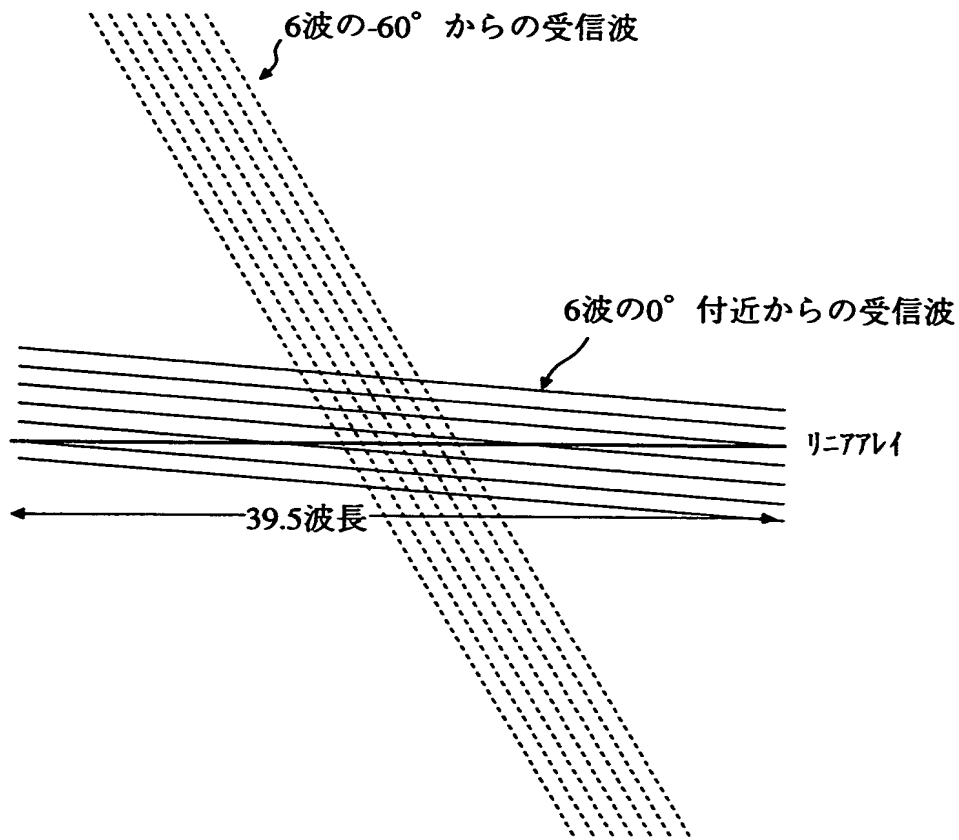
【図 1 8】



【図 1 9】



【図 20】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 短パルスの受信波に対しても鋭いビームを感度よく形成することができる受波ビーム形成方法を提供する。

【解決手段】 円筒形の受信アレイで 90° の範囲の 60 エLEMENT を使用して 1 つの受波ビームを形成する。ビーム 0 を形成する ELEMENT 0 ～ ELEMENT 59 を前後に 2 等分し 2 グループに分けて受波ビームを形成する。すなわち、ビーム方向に対して後ろの方のグループ 1 (ELEMENT 0 ～ ELEMENT 8、ELEMENT 51 ～ ELEMENT 59) と前の方のグループ 2 (ELEMENT 9 ～ ELEMENT 50) に分け、グループ 1 の今回のスキャン周期のサンプリングデータとグループ 2 の前回のスキャン周期のサンプリングデータを用いて受波ビームを形成することにより、短いパルス信号でも受信波が全アレイにかかるようにサンプリングすることができ、短いパルスにおけるビーム形成の指向性、感度等を改善することができる。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000166247]

1. 変更年月日	1990年 8月 7日
[変更理由]	新規登録
住 所	兵庫県西宮市芦原町9番52号
氏 名	古野電気株式会社



Creation date: 11-20-2003
Indexing Officer: YINGILA - YOTAKA INGILA
Team: OIPEBackFileIndexing
Dossier: 09672879

Legal Date: 08-29-2001

No.	Docode	Number of pages
1	IDS	5

Total number of pages: 5

Remarks:

Order of re-scan issued on